

5. OTURUM

SOĞUK ŞEKİLENDİRME YÖNTEMLERİ VE SOĞUK ŞEKİLENDİRME İŞİNİN ÇELİK MALZEME MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Yavuz Selim TAMA, Hasan KAPLAN
Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli

Özet

Günümüzde çelik yapı sektöründe, taşıyıcı sistemlerin oluşturulmasında kullanılan eleman tiplerini üç gruba ayırmak mümkündür. Bunlardan ilki ve en yaygın kullanılan standart hadde profilleridir. İkincisi ise, hadde profillerinin mukavemet olarak yeterli gelmediği veya ekonomik olmadığı durumlarda tercih edilen, farklı kalınlıklardaki levhaların kaynaklı veya cıvatalı olarak birleştirilmesi ile oluşturulan yapma kesitli elemanlardır. Üçüncüsü ise; bu çalışmanın konusunu olan ve gün geçtikçe uygulama sahası genişleyen, ince cidarlı çelik saclardan soğuk şekil verilme yöntemi ile üretilen elemanlardır.

Çelik yapı kesitlerinin oluşturulmasında kullanılan yöntemler, çelik malzemenin mekanik özellikleri üzerinde olumlu veya olumsuz önemli değişikliklerin oluşmasına neden olur. Bu çalışmada, ince cidarlı çelik kesitlerin soğuk şekillendirme tekniği ile üretiminde kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Uygulanan soğuk şekillendirme işleminden dolayı çelik malzemenin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler deneysel olarak araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çelik Yapı, Soğuk Şekillendirme, Gerilme–Şekil değiştirme

1. Giriş

Malzemelerin şekillendirilmesi, şekil verme işleminin uygulandığı sıcaklığa göre “sıcak” ve “soğuk” olarak ikiye ayrılır. Malzeme davranışı bakımından temel farklılıklar gösteren bu iki grup arasındaki sınır, malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığı ile belirlenir, [1].

Sıcak şekil verme işleminde, şekil verme sıcaklığı yeniden kristalleşme için gerekli olan en düşük sıcaklık değerinden oldukça yüksektir. Soğuk şekillendirme işleminde ise, şekil verme sıcaklığı malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığından oldukça düşüktür, [1].

Soğuk şekillendirme: “Başlangıçta düz olan çelik sac veya levha elemanların hadde silindirleri veya kalıpları kullanılarak arzu edilen nihai kesit şekli elde edilinceye kadar sürekli deformasyona uğratılması” işleminden ibaret olan bir imalat sürecidir, [2].

Soğuk şekil verilerek üretilen hafif çelik yapılar konusunda bilgi ve tecrübe birikimi 20. Yüzyıl başlarında uçak endüstrisinin, mümkün olduğunca hafif fakat taşıma kapasitesi o oranda yüksek taşıyıcı elemanlara ihtiyaç duyması ile başlar. Bu sahada yapılan çalışmaların hızlanmasına neden olan ikinci etken ise otomobil endüstrisidir. Birinci Dünya Savaşı sırasında, otomobil kaportalarının ve demir yolu

vagonlarının üretiminde ince cidarlı soğuk şekillendirilmiş çelik sac elemanlar kullanılmıştır.

Uçak ve otomobil endüstrisinin neden olduğu bilgi ve tecrübe birikimi, soğuk şekillendirilmiş çelik taşıyıcı elemanların yapı endüstrisinde de yaygın şekilde kullanılmasına neden olmuştur. Başlangıçtan günümüze bu teknik hızla gelişmiş, özellikle A.B.D. ve İngiltere de gittikçe yaygınlaşarak kullanılmaya devam etmiştir. Bu gelişim Avrupa ülkelerince de izlenerek yapı endüstrisine uygulanmıştır. Ülkemizde ise bu teknolojinin kullanımı çok düşüktür.

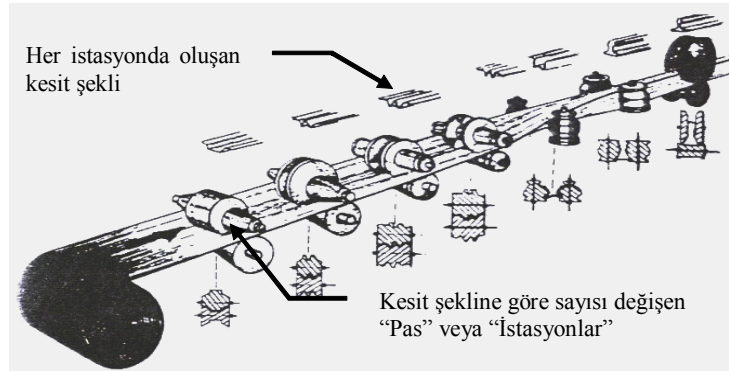
Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan soğuk şekillendirme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Uygulanan soğuk şekillendirme işleminden dolayı çelik malzemenin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler deneysel olarak araştırılmıştır, [3].

2. Soğuk Şekillendirme Yöntemleri

Çelik yapı sektöründe kullanılan, ince cidarlı taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan elemanların imalatında kullanılan soğuk şekillendirilme yöntemleri iki guruba ayrılır. Bunlar, [4]; 1. Soğuk Haddeleme (Sürekli Formda Şekil Verme), 2. Soğuk Bükme (Presle Şekil Verme)

2.1. Soğuk Haddeleme (Sürekli Formda Şekil Verme)

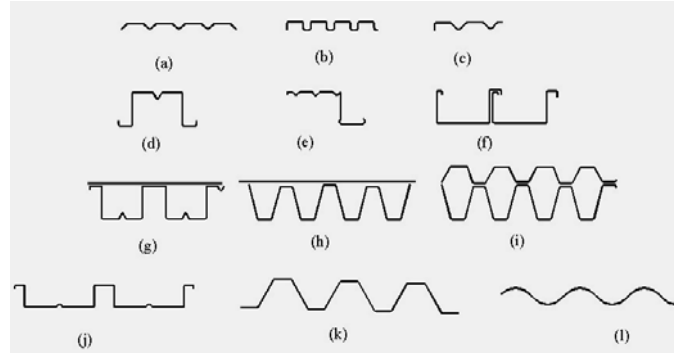
Bu yöntemde en az iki veya daha fazla disk serisinin bulunduğu hadde makineleri kullanılır, (Şekil 1, Resim 1). Seri ve toplu imalatlar için avantajlıdır. Özellikle, Şekil 2’ de gösterildiği gibi çatı, döşeme, duvar panelleri, oluklu levhalar ve yağmur suyu olukları gibi çok sayıda elemanın imalatında da kullanılmaktadır.



Şekil 1. Sürekli formda soğuk şekillendirme üretim şeması, [4]



Resim 1. Soğuk Haddeleme tezgahları, [3].



Şekil 2. Soğuk Haddeleme yöntemi ile üretilen kesit tipleri, [5].

Bu yöntemde, şerit halinde makineye sokulan sac eleman küçük adımlarla değiştirilir ve son adımda istenilen kesit şekli elde edilerek şekillendirme işlemi sonlandırılır, (Şekil 1). Bu adımların her birisine “Pas” veya “İstasyon” denilir, [6]. Şekillendirme işleminde kullanılan silindirlerin yerleşimi ve gerekli istasyon sayısı elde edilmek istenilen kesit şekline bağlıdır, (Şekil 1). Üretilmek istenen kesit şekli ne kadar karmaşıksa gerekli istasyon sayısı da o kadar fazladır. Bitiş ucunda, tamamlanmış olan kesit makineyi durdurmaksızın otomatik olarak kesilir. Kesme boyları genellikle 6.0 m ve 12.0 m dir, [7].

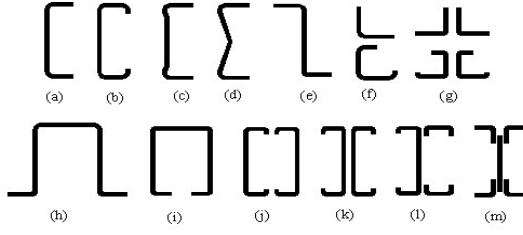
2.2. Soğuk Bükme (Presle Şekil Verme)

Presle bükerek şekil verme, bir baskı (zımbalama) tezgahı, kalıplar ve bazı yardımcı aparatların gerektiği, kısıtlı üretim kapasiteli manuel kontrol edilen, eğme-bükme işlemidir, [8]. Bu yöntemde kullanılan baskı tezgahı hareket edebilen bir üst kiriş ve istenilen kesit şeklini elde edebilmek için kullanılacak olan kalıpların yerleştirildiği sabit bir alt yataktan oluşur, (Resim 2). Bu yöntem daha ziyade kısa boydaki elemanların üretiminde kullanılır, (eleman boyları kullanılan baskı makinesinin ağız genişliğine bağlı olmakla birlikte genellikle 3.0 m’ dir). Kesit şeklinde var olan her köşe bir pres darbesiyle oluşturulur, (Resim 2).

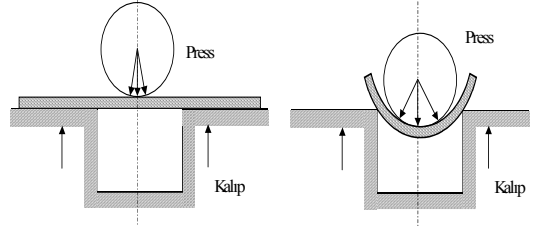


Resim 2: Presle kıvrırma işleminde kullanılan baskı tezgahı ve kalıpları

Bu yöntem, üretilecek kesit basit bir şekle sahipse, nispeten enli ve kısa ise, (Şekil 3), üretim hızı sabit ve küçük ise kullanılabilir, [7]. Bu yöntemde, bükme işlemi merkezden dışa doğru gelişir. Eğrilik (kavis) köşe boyunca sabit değildir. Köşenin orta noktasında eğrilik en büyüktür, (Şekil 4). Bu yöntem kullanılarak üretilmiş olan bazı elemanlar Resim 3’ de gösterilmiştir.



Şekil 3. Oluşturulan bazı kesit tipleri, [5].



Şekil 4. Presle bükme, şematik gösterim, [8].



Resim 3. Presle bükerek şekillendirilmiş kesit tipleri, [3].

3. Soğuk Şekillendirmenin Malzeme Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi

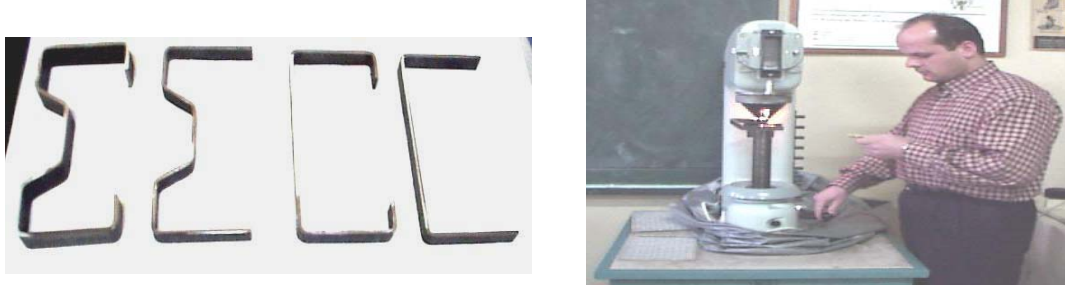
Soğuk şekillendirme işlemi sırasında kullanılan yöntemler, çelik malzemenin mekanik özellikleri üzerinde önemli değişiklikler meydana getirir. Özellikle kesitlerin köşe bölgelerinde, şekillendirme işleminden sonra malzeme mekanik özelliklerinde önemli farklılıklar oluşur. Bunun nedeni, kesitin köşelerinin düzlem kısımlarına nazaran çok daha yüksek oranda soğuk şekillendirme işlemine tabi tutulmasıdır. Şekil verme işleminden dolayı, eleman ekseninin enine ve boyuna doğrultusunda plastik deformasyonlar meydana getirir, [9].

Kesitlerin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimlerin oranı önemli ölçüde kullanılan şekil verme yöntemine bağlıdır. Bu çalışmada, “Presle Bükme” yöntemi kullanılmıştır. Presle şekil verme işleminde, çelik malzemenin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimlerin büyüklüğünü tespit etmek için, $t=4$ mm kalınlığında çelik saçlardan üretilmiş olan kesitler üzerinde sertlik ölçümleri yapılarak malzeme sertliğinin kesit boyunca değişimi araştırılmıştır. Ayrıca, kesitlerin düzlem ve köşe bölgelerinden alınan numuneler çekme testlerine tabi tutularak malzemenin mukavemet özelliklerinin soğuk şekillendirme nedeniyle değişimi araştırılmıştır, [3].

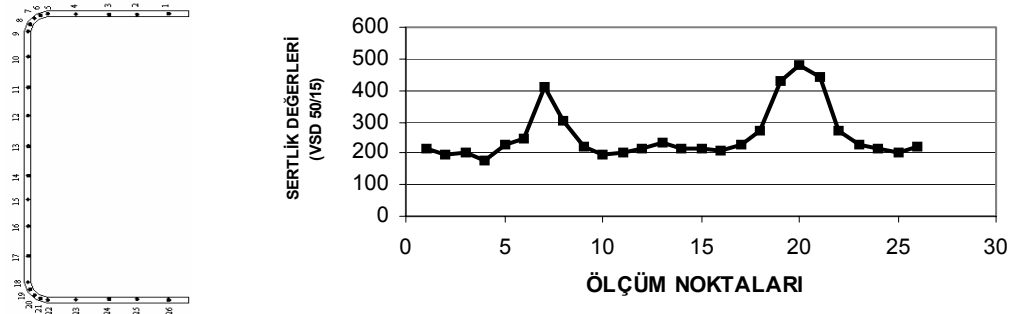
3.1. Soğuk Şekillendirme İşleminin Malzeme Sertliği Üzerindeki Etkisi

Sertlik izafi bir ölçü olup sürtünmeye, çizilmeye, kesmeye ve plastik deformasyonlara karşı direnç olarak tarif edilir. Laboratuarlarda özel cihazlarla yapılan sertlik ölçümlerindeki değer, malzemenin plastik deformasyona karşı gösterdiği dirençtir, [10].

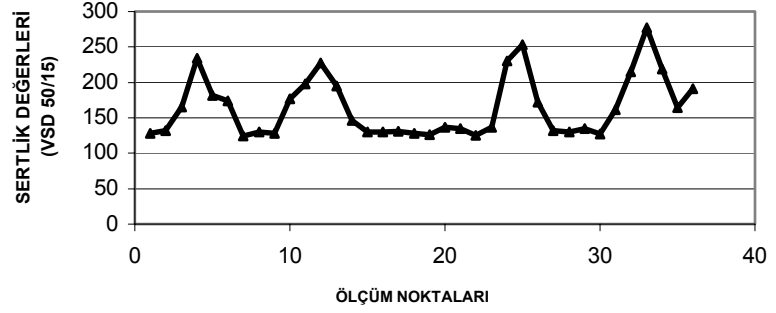
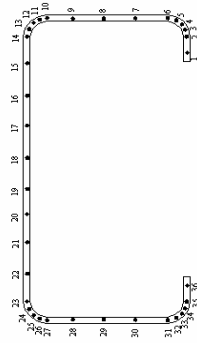
Bu çalışmada, “*Vickers*” sertlik ölçüme yöntemi kullanılmış ve TS 207^[11] de belirtilen esaslar uygulanmıştır. Dört farklı kesit şekli üzerinde sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm yapılan kesit tipleri ve ölçme işleminin yapılışı Resim 4 de verilmiştir. Ayrıca, ölçüm yapılan noktalar ve ölçülen sertlik değerlerinin kesit boyunca değişimi de Şekil 5-8’ de gösterilmiştir. Ölçüm değerleri incelendiğinde, kesitlerin köşe bölgelerinde, düzlem kısımlarına kıyasla, malzemenin sertliğinin % (40-100) arasında artış gösterdiği ve bu artışın köşe kıvrımlarının orta noktalarında maksimum değere ulaştığı görülmüştür, [3]. Sertlik değerlerinin, kesitlerin köşe orta noktalarında maksimum değere ulaşmasının nedeni, bu noktalarda soğuk şekillendirme işleminin maksimum olmasıdır. Malzeme sertliğinin artması dayanımla doğru orantılı fakat süneklikle ters orantılıdır. Yani, sertlik arttıkça dayanım artmakta fakat süneklik azalmaktadır ve malzeme daha gevrek bir hal almaktadır.



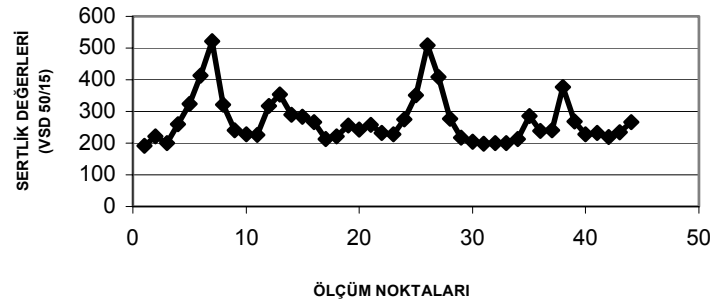
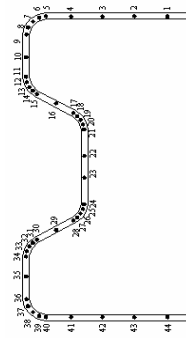
Resim 4: Sertlik ölçümü yapılan kesit tipleri ve ölçme işleminin yapılışı



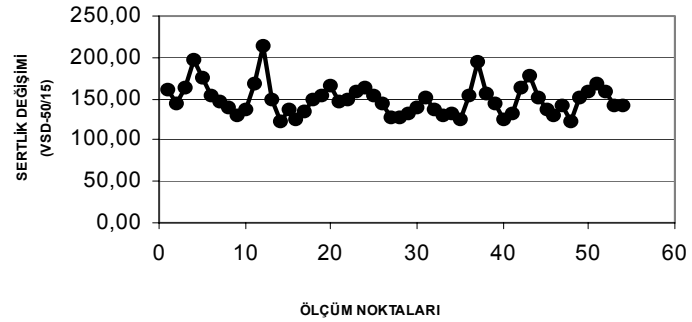
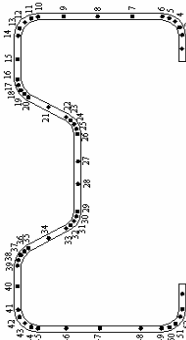
Şekil 5. Model-1 için ölçüm yapılan noktalar ve kesit boyunca sertlik değişimi



Şekil 6. Model-2 için ölçüm yapılan noktalar ve kesit boyunca sertlik değişimi



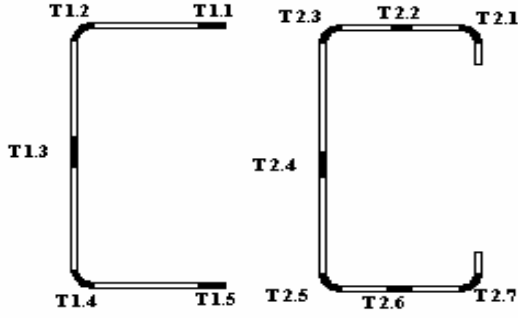
Şekil 7. Model-3 için ölçüm yapılan noktalar ve kesit boyunca sertlik değişimi



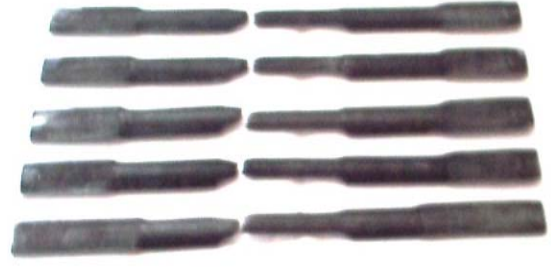
Şekil 8. Model-4 için ölçüm yapılan noktalar ve kesit boyunca sertlik değişimi

3.2. Soğuk Şekillendirmenin Malzeme Dayanımı Üzerindeki etkisi

Soğuk şekillendirme işleminin çelik malzemenin mukavemet özelliklerinde meydana getirdiği değişimleri belirlemek için, model kesitlerin düzlem ve köşe bölgelerinden çekme numuneleri çıkartılmıştır, (Şekil 9), [12,13]. Kesitin köşe kıvrım bölgesinden çıkartılan numunelerin çekme deneyi sonrası görünüşleri Şekil 10’ da gösterilmiştir.



Şekil 9. Çekme numunelerinin çıkartıldığı bölgelerin kesitler üzerinde gösterilişi



Şekil 10. Köşe bölgelerinden çıkartılan çekme numunelerinin kopma şekilleri

Kesitlerin düzlem kısımlarından çıkartılan numunelerin tamamında bir akma platosu oluşmuştur. Her numune için akma bölgesi, R_{eH} üst akma ve R_{eL} alt akma değerleri belirgin bir şekilde izlenebilmiştir. Numunelerin ortalama akma (R_e) dayanımları $295-312 \text{ N/mm}^2$ arasında, çekme (R_m) dayanımları $416-437 \text{ N/mm}^2$ arasında ve % 0,5 birim uzamanın olduğu andaki gerilme değerleri ise $R_{P-0,5\%} = 297-317 \text{ N/mm}^2$ arasında değişim göstermiştir. Ayrıca bu numunelerde, kopma anındaki toplam birim uzama % 26-30 arasında oluşmuştur. Köşe kıvrım bölgelerinden çıkartılan numuneler de ise, köşe bölgelerinde oluşan plastik şekil değiştirmeler nedeni ile malzeme gevrekleşmiş ve akma platosu elde edilememiştir.

Yapılan çekme testleri sonucunda, soğuk şekillendirme işleminden dolayı kesitlerin köşe bölgelerinde, düzlem kısımlara oranla, malzeme akma dayanımında ortalama % 50 oranında artış elde edilmiştir. Benzer şekilde, çekme dayanımında da % 15' oranında bir artış oluşmuştur. Ayrıca, 0,5 % birim uzamanın olduğu andaki gerilme değeri ($R_{P-0,5\%}$), düzlem kısımlarından çıkartılan numunelere kıyasla, ortalama % 35 oranında artış göstermiştir. Köşe bölgelerinden çıkartılan numunelerde, malzemenin dayanım değerlerinde meydana gelen bu değişimler kesitlerin üretiminde uygulanan soğuk şekillendirme işleminin bir sonucudur.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, ince cidarlı çelik yapı elemanlarının soğuk şekillendirme tekniği ile üretiminde kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Ayrıca, uygulanan soğuk şekillendirme işleminden dolayı çelik malzemenin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Bu amaçla gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular yorumlanmıştır.

Çalışma kapsamında, "Presle Bükme" tekniği kullanılarak $t=4 \text{ mm}$ kalınlığındaki çelik levhalardan 4 farklı en kesit şekline sahip test numunesi üretilmiştir. Bu kesitler üzerinde Vickers sertlik ölçümleri yapılmış ve kesit boyunca soğuk şekillendirme nedeni ile malzeme sertliğinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Ayrıca, kesitlerin düzlem ve köşe bölgelerinden numuneler çıkartılarak çekme testleri yapılmıştır. Bu testler sonucunda da malzemenin mukavemet özelliklerinde meydana gelen değişimler deneysel olarak araştırılmıştır.

Yapılan sertlik ölçümleri sonucunda, kesitlerin köşe bölgelerinde, düzlem kısımlarına kıyasla, malzeme sertliğinde % (40-100) arasında bir artış meydana

gelmiştir. Bu sertlik artışları kesitlerin köşe kıvrımlarının orta noktasında maksimum değere ulaşmıştır. Bunun nedeni, bu noktalarda soğuk şekillendirme işleminin maksimum olmasıdır.

Yapılan çekme testleri sonucunda ise;

- Düzlem kısımlardan çıkartılan numunelerin tamamında akma bölgesi (R_{eH} – üst akma ve R_{eL} alt akma değerleri) elde edilmiştir. Köşe bölgelerden çıkartılan numunelerde ise belirgin bir akma bölgesi oluşmamıştır.
- Köşe bölgelerinden alınan numunelerde malzeme akma dayanımında, düzlem kısımlara oranla % 50 artış meydana gelmiştir. Çekme dayanımında ise % 15’ lik bir artış elde edilmiştir.
- Ayrıca, köşe kıvrım bölgelerinden çıkartılan numunelerde 0,5 % birim uzamanın olduğu andaki gerilme değeri ($R_{P-0,5\%}$), düzlem kısımlara kıyasla, ortalama % 35 oranında artış göstermiştir.

Sonuç olarak, ince cidarlı çelik kesitlerin imalatında uygulanan soğuk deformasyondan dolayı, kesitlerin köşe bölgelerinde, malzeme sertliğinde çok büyük artışlar meydana gelmektedir. Benzer şekilde malzemenin çekme, akma dayanım değerleri artmakta fakat şekil değiştirme kabiliyeti azalmaktadır ve bu bölgelerde malzeme gevreklemektedir. Bu nedenle, soğuk şekillendirilmiş çelik taşıyıcı elemanların kaynaklı düğüm noktası teşkillerinde, kesitlerin köşe kıvrım bölgelerinde kaynak yapılmaması birleşimin güvenliği açısından çok önemlidir. Bu bölgelerde oluşan plastik deformasyonlar ve gerilme yığılmaları nedeni ile, kullanılan kaynak metali ile kaynaklanacak parça arasında tam nüfuziyet sağlanmayacak ve birleşimin en zayıf halkasını oluşturacaktır.

Kaynaklar

- [1] Bargel, J. Schulze, G., Malzeme Bilgisi, Cilt I, (Çevirenler; Güleç, Ş., Aran, A.), TÜPİTAK, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, MBEAE Matbaası, 190 s., Gebze, 1987.
- [2] Tama, Y. S., Çelik Yapılarda İnce Cidarlı Elemanların Kullanımı, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, Denizli Şubesi Bülteni, Sayı: 40, Ocak / Nisan 2004.
- [3] Tama, Y. S., Soğuk Şekillendirilmiş Açık Kesitli Çelik Kirişlerin Davranışının İncelenmesi”, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2002.
- [4] Uzgider, E., Arda, T. S., “Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Elemanlar”, III. Çelik Yapılar Seminer Notları, Cilt 1, İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı, İnşaat Fakültesi, 30 Kasım-05 Aralık, 1987.
- [5] Council of Tall Building and Urban Habitat committee, Cold-Formed Steel In Tall Buildings, 1993.
- [6] Uzgider, E., “Soğukta Biçim Verilmiş İnce Cidarlı Elemanlarla Oluşturulan Yapılar”, II. Çelik Yapılar Seminer Notları, Cilt 1, İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı, İnşaat Fakültesi, 16-21 Eylül, 1985.
- [7] Yu, W.W., Cold-Formed Steel Design, Ph. D. ,A Willey –Interscience Publication, Second Edition, 631 s., New York, 1991.
- [8] Karren, W. K., Corner Properties of Cold-Formed Steel Shapes, Journal of the Structural Division, Vol. 93, No. ST1, February, 1967.
- [9] Yu, W. W., Liu, V. A. S., McKinney, W. M., Structural Behavior of Thick Cold- Formed Steel Members, Journal of the Structural Division, Vol. 100, No. ST11, November, 1974.
- [10] Kayalı, E. S., Ensari, C., Dikeç, F., Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, 1983.
- [11] Türk Standartları Enstitüsü, Metalik Malzemenin Vickers Sertlik Deneyi, TS 207, Şubat, 1973.
- [12] ASTM Designation, Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products, A 370-96.
- [13] Türk Standartları Enstitüsü, Çekme Deneyleri (Metalik Malzemeler için), TS138/ Mart 1978.

ÇEŞİTLİ KAYNAK YÖNTEMLERİ İÇİN PRATİK KAYNAK MALİYETİ HESAP YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Mutlu Seçer

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Tınaztepe Kampüsü 35160 Buca – İzmir

Özet

Bu çalışmada, kaynak maliyet analizinin temel parametreleri çeşitli kaynak yöntemleri için incelenmiş ve pratik kaynak maliyeti hesap yöntemlerinin kullanılması araştırılmıştır. Sayısal uygulama kısmında; çeşitli kaynak yöntemleri için maliyet hesapları adım adım sunulmuş ve aynı birleşim işi için farklı kaynak yöntemleri uygulanması durumunda oluşacak maliyet farklılıkları incelenmiştir. Sayısal olarak incelenen kaynak maliyeti hesaplarından elde edilen sonuçlar grafik ve tablolar halinde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kaynak Maliyeti, Kaynak Yöntemleri

1. Giriş

Tüm imal usulleri gibi kaynak işlerinin de maliyetlerinin hesaplanması oldukça önemlidir. Ancak, kaynak maliyetinin net olarak hesaplanması, maliyet analizinde birçok değişken bulunmasından dolayı oldukça zordur. Kaynak işlemi yapan birçok firma, kaynak maliyetini hesaplama konusunda çeşitli problemler yaşamaktadır [1]. Sahada gerek imal amaçlı kaynak, gerekse tamir amaçlı kaynak gibi kaynak işleri için yerel koşullar oldukça farklılık göstermekte ve işin planlanma kısmı neredeyse tamamen kaynak ustasına bırakılmaktadır. Ancak günümüzde çeşitli kaynak yöntemleri için maliyet hesapları yapılabilmektedir.

Yapısal tasarım işi ile ilgili mühendis kaynaklı birleşimin maruz kaldığı statik ve dinamik yükleri taşıyabilecek şekilde hesaplanması işlerini gerçekleştirirken, kaynak işi ile ilgili mühendis kaynak yöntemini ve kaynak dolgu metalini seçerek en ekonomik ve emniyetli birleşimin elde edilmesini sağlar. Kaynak işi ile ilgili mühendis; iş gücü ücretleri, seçilen kaynak yöntemi vb. giderleri dikkate almalıdır. Kaynak yapılmadan önce maliyet analizi hesaplanmalı veya kaynak yapımı aşamasında durum mutlaka değerlendirilmelidir.

Kaynak maliyeti analizlerinden önce; yapılacak iş için gerekli verilerin toplanması, fabrikasyon üretim veya diğer imal usulleri ile kaynak yapılmasının karşılaştırılması, alternatif tasarım yöntemleri arasında seçim yapmak için yöntemler hakkında bilgi toplanması, prosedürlerdeki önerilen değişikliklerin incelenmesi, kaynak yöntemlerinin ekonomik avantajları karşılaştırılması gibi aşamalar mevcuttur.

Kaynak maliyeti hesabında birçok değişken değer ve birçok hataya neden olabilecek faktör olduğundan kaynak tasarım mühendisleri kaynak maliyetinin tahmini konusunda kesin bir yargıya varamazlar. Hatta maliyet analizi için

geliştirilmiş aritmetik işlemlere dayanan matematiksel formüller bile hesaplara ihtiyatlı yaklaşmaktadır.

2. Maliyet Analizi Yaklaşımları

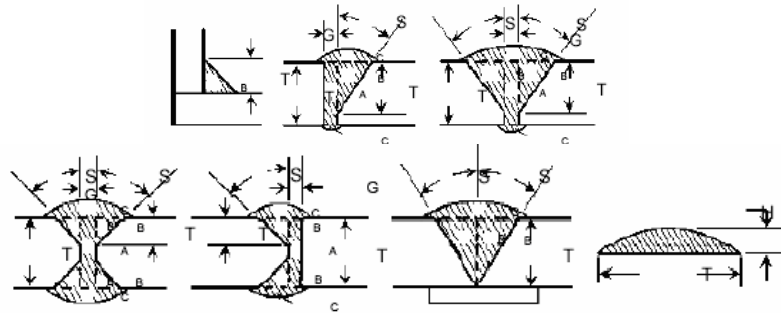
Kaynak maliyeti iki temel kategoride incelenebilir. Sabit maliyetler; genelde kaynak işlemi tipine veya dolgu metalinden bağımsız olan maliyetler olup, yönetim maliyeti, vergiler, sigorta, malzemenin taşınması, malzemenin yerleştirilmesi, birleşimin hazırlanması, kaynak yerinin incelenmesi ile temizlenmesi gibi işleri kapsar. Değişken maliyetler ise kaynak işi tipine bağlı olan; işçilik, taşeron vb. maliyetlerdir. Ancak sabit maliyetler her zaman diğerinden ayıramayabilir. Sabit maliyetler ile kastedilen her kaynak işinde yapılması gereken işlerden dolayı oluşan maliyetlerdir. Bu maliyetler, üretici firmanın ekipman ve yeteneğine bağlı olduğu için değişkenlik gösterir.

Kaynak maliyeti hesabı temel olarak kullanılan malzeme ve işçiliğin birlikte dikkate alınmasıdır. Malzeme maliyeti; elektrot, toz, koruyucu gaz, enerji vb. diğer tüketilenleri, işçilik maliyeti ise insan gücü maliyeti, işletme giderleri vb. içerir. Kaynak maliyeti hesaplarında uygunluk sağlamak amacıyla malzeme ve işçilik için ortak referanslar kullanılmalıdır. Her iki maliyet kalemi de birim uzunluk başına düşen maliyet (\$/m) olarak ifade edilebilir.

3. Kaynak Metali Ağırlığı

Kaynaklı birleşimlerin geometrik özellikleri bilindiği durumlarda kaynak hacminin bulunması ve kaynak metalinin birim hacim ağırlığı ile çarpılarak kaynak metali ağırlığının hesaplanması mümkündür.

Ancak bu tür kaynak metali hesaplarını doğrudan geometrik özellikleri kullanarak yapmak her zaman kolay olmayabilir. Zaman problemi bulunan ve kaynaklanacak elemanları sayısı miktarı fazla olan büyük işlerde geometrik özellikleri hesaplayarak kaynak maliyeti bulmak oldukça güçtür. Kaynak metali ağırlığı hesabını kolaylaştırmak amacıyla köşe ve küt kaynaklar için çeşitli tablolar hazırlanmıştır [2]. Tabloları kullanılarak kaynak metali ağırlığını düz, konveks ve konkav köşe kaynaklar için hesaplamak mümkündür.



Şekil 1. Kaynak Metali Hesabı

Örnek olarak, Şekil 1.'de verilen çeşitli kaynak geometrileri için kaynak metali ağırlığı hesabı Tablo 1.'in kullanılmasıyla yapılabilir. Ancak tabloların sınırları aynı zamanda hesap kabiliyetini sınırlandıracağından birçok veri barındıran

geniş tablolar kullanmak daha uygun olacaktır. Bu çalışmada kullanılan kaynak metali ağırlık tabloları, esas kaynak metalinin çelik olduğu tablolarıdır.

Tablo 1. Kaynak Metali Hesap Tablosu

Kaynak Metali Hesap Tablosu											
	A Dikdörtgen (kg/m)				B Üçgen (kg/m)				C Takviye (kg/m)		
T	G (cm)				S (derece)				H (cm)		
(cm)	0,16	0,32	3,56	1,27	10,00	22,50	30,00	45,00	0,16	0,32	0,64
0,79	0,098	0,198	0,394	0,790	0,043	0,103	0,143	0,247	0,065	1,316	-
0,95	1,191	0,237	0,473	0,948	0,063	0,147	0,205	0,356	0,079	0,158	-
1,27	0,158	0,315	0,632	1,263	0,112	0,262	0,365	0,632	0,106	0,210	-
1,59	0,198	0,394	0,790	1,579	0,174	0,409	0,570	0,988	0,131	0,263	0,527
1,91	0,237	0,473	0,948	1,896	0,251	0,589	0,821	1,423	0,158	0,315	0,631
2,22	0,277	0,552	1,106	2,211	0,342	0,801	1,118	1,935	0,185	0,369	0,737
2,54	0,315	0,632	1,263	2,527	0,446	1,046	1,460	2,527	0,210	0,421	0,842

4. Kaynak Dolgu Metali Hesabı

Kaynak dolgu metali maliyetini hesaplamak için öncelikle kaynak dolgu metali alanı hesaplanmalıdır. Genel olarak, kaynak kesit alanı kaynak boyutunun karesi ile doğru orantılı olduğundan kaynak boyutunun büyümesinin kaynak maliyetini de önemli oranda etkiler. Eğer bir kaynak işi gereğinden daha büyük yapıyorsa, gereğinden fazla kullanılan kısım veya diğer bir deyişle ek malzeme kaybedilen ekonomiyi gösterir.

Klasik bir kaynak işi için gerekli kaynak metali hesabı kaynak dolgu malzemesi hesabına dayanır. Dolgu metali üreten firmalar genelde bu tür bilgileri içeren tablolar hazırlarlar [3]. Aynı kesit değerleri için kaynak metali ağırlığı tabloları ile kaynak dolgu metali tabloları arasında bir fark mevcuttur. Kaynak işlemi için kullanılan dolgu metali miktarı elde edilen kaynak metali miktarından daha fazladır. Bu fark, cüruf kaybı, sıçrıntı kaybı, elektrodun kullanılmayan son kısmı vb. kayıplardan dolayı oluşur ve dolgu verimi ifadesi ile açıklanabilir [4].

5. Dolgu Verimi

Dolgu verimi, kaynak işlemi esnasında harcanan kaynak dolgusu ile elde edilen kaynak metali arasında oluşan kayıpları ve kullanılmayan son kısımların dikkate alınması ile elde edilen, %50 ile %100 arasında değişen bir orandır. Tablo 2.' de çeşitli kaynak yöntemleri için dolgu verimleri verilmiştir [4].

$$\text{Dolgu Verimi} = \text{Kaynak Metali Ağırlığı} / \text{Kullanılan Dolgu Metali Ağırlığı} \quad (1)$$

Tablo 2. Çeşitli Kaynak Yöntemleri için Dolgu Verimleri

SMAW (MMAW)	% 50-65
FCAW	%75-90
GTAW (TIG)	%95-100
GMAW (MIG)	%88-98
SAW (Toz altı)	%90-100

Kaynak dolgu verimini mükemmel olarak tespit etmek için yapılacak en iyi yöntem bir test kaynağının hazırlanmasıdır. Elektrodun veya kaynak telinin ağırlığının kaynak işleminden önce ve sonra ölçülmesi ile kaynak metalinin ölçülmesine dayanır. Bunun yanında, elektrot tüketimi direk olarak da ölçülebilir. En genel yöntem test kaynağı hazırlarken gereğinden fazla kaynak elektrodu hazırlanır ve deney kaynak işlemi tamamlandıktan sonra kullanılmamış olan elektrot tartılır. Ağırlıktaki fark deney kaynağının hazırlanmasında tüketilen elektrot ağırlığını verir. Tam bir elektrot kullanılarak veya daha az elektrot tüketilerek yapılan test kaynakları tavsiye edilmez. Ayrıca uç kısım kayıpları da dikkate alınmalıdır.

Eğer işlemde kaynak teli kullanılıyor ise yeterli kaynak teli hazırlanmalı ve renkli kalem ile işaretlenmelidir. Kaynak işlemi bittikten sonra, işaretlenmiş nokta ile kaynak teli son noktası arası ölçülerek harcanan elektrot miktarı bulunabilir. Dolgu verimi bize elimizdeki elektrot veya kaynak teli ağırlığı ile ne miktarda kaynak metali elde edebileceğimizi gösteren bir oran olduğundan pratikte oldukça yararlıdır. Örneğin; %85 dolgu verimi olan 100 kg özlü elektrot kullanıldığında (uç kısımları atılarak yapılan hesap ile) yaklaşık 85 kg kaynak metali elde edilebilir.

Örtülü elektrotların uç kısım uzunluğu operatör ve uygulama yöntemine bağlı olarak değişken olduğundan örtülü elektrotların dolgu verimi kullanılmayan uç kısmın çıkartılmasıyla bulunur [5]. Uzun ve sürekli kaynaklarda kısa uç kısım, kısa ve süreksiz kaynaklarda ise uzun uç kısım olmaktadır. Denklem (2) ile örtülü elektrotlar için uç kısmı kaybını dikkate alan verim formülü verilmiştir. Elektrot boyuna bağlıdır ve %1,5–2,3 yanılma payına sahiptir. Hata miktarı; elektrot boyutu, örtü kalınlığı, uç kısım uzunluğu vb. farklar düşünüldüğünde oldukça küçük ve yaklaşık maliyet hesabı için kabul edilebilir miktardadır. Eğer örtülü elektrot için uç kaybı değeri tam olarak bilinemiyorsa, yaklaşık 7–8 cm uç kaybı değeri dikkate alarak güvenli yönde maliyet hesapları yapılabilir [5].

Tablo 3. Örtülü Elektrotlar Dolgu Verimi Tablosu

E7018, E8018, E9018, E10018, E11018, E12018 Elektrotları (Birtakım Elektrot Çapları için)			
Elektrot Çapı (cm)	Amper	Depolama Oranı (kg/saat)	Verim
0,397	140	1,411	%75,0
	170	1,715	%73,5
	200	1,955	%73,0
0,476	200	2,200	%76,4
	250	2,431	%74,6
	300	2,545	%70,3
0,556	250	2,948	%75,0
	300	3,266	%74,0
	350	3,357	%73,0

$$\text{Uç Kaybı Dikkate Alınmış Net Verim} = (\text{Elektrot Uzunluğu} - \text{Uç Kısım}) * \text{Dolgu Verimi} / \text{Elektrot Uzunluğu} \quad (2)$$

Özlü teller, örtülü elektrotlara göre daha düşük metal oranına ve daha yüksek dolgu verimine sahiptir. Tel sürekli olduğu için uç kaybı söz konusu değildir. Gaz

altı teller E70T-1 ve E70T-2 tipleri %83 ile %88 arasında verim değerlerine sahiptir. Gaz altı basit cüruf tipi olan E70T-5 ise; CO₂ koruyucu gazı kullanıldığında %85 ile %90 arasında ve %25 CO₂ ile %75 argon koruyucu gazı kullanıldığında %92 verim elde edilebilmektedir [6]. Özlü teller için verim değerleri çok çeşitli değerler alır. Bunun nedeni özel uygulamalar için geliştirilmiş olan ürün çeşitliliğidir. Tablo 4.'de verilen verim değerleri %25 CO₂ ve %75 argon kullanılarak optimum koşullar için hazırlanmıştır [6]. Yüksek oranda argon kullanılması durumunda verim artacaktır.

Tablo 4. Özlü Tellerin Verim ve Depolama Oranları

FCAW Koruyucu Gazlı E70T-1, E71T-1, E70T-2, E70T-5 Tablosu (Birtakım Elektrot Çapları için)			
Elektrod Çapı (cm)	Amper	Depolama Oranı (kg/saat)	Verim
0,159	250	3,493	%86
	275	3,856	%86
	300	4,218	%86
	350	5,307	%86
0,198	250	2,903	%85
	350	4,763	%85
	450	6,713	%85
0,238	400	5,761	%85
	450	6,804	%85
	500	8,391	%86

GMAW (MIG) tellerin verimi Tablo 5.'den de görülebileceği gibi oldukça yüksektir ve koruyucu gaz veya gaz karışımları kullanılması ile değişir. CO₂ kullanılması halinde yaklaşık verim %93 olur. %75 argon ve %25 CO₂ gazı karışımı kullanılması durumunda ise sıçrantı azalır ve verim artarak yaklaşık %96 civarında olur. %98 argon ve %2 O₂ gazı karışımı kullanılması durumunda ise sıçrantı iyice azalır ve verim daha da artarak %98 civarında olur [6]. Bu durumda da tel sürekli olduğundan uç kaybı söz konusu değildir. Tablo 6.'de ortalama depolama oranları değerleri de verilmiştir.

SAW (Toz Altı) kaynağında ise, sıçrantı kaybı olmadığından verim %99 olarak kabul edilebilir [6]. Buradaki kayıp sadece kaynağın son kısmındaki telin kesilmesi sırasında operatörden kaynaklanabilir. Bu kesme işlemi yeni bir kaynağa başlarken iyi bir kaynaklama gerçekleşmesini sağlayacaktır.

Tablo 5. GMAW (MIG) Tellerin Verimi

Koruyucu Gaz	Verim Oranı	Ortalama Verim
Saf CO ₂	%88 – 95	%93
%98 Ar - %2 O ₂	%97 – 98,5	%98

Tablo 6. GMAW (MIG) Tellerin Verim ve Depolama Oranları

GMAW (MIG) Tel Elektrotlar (Birtakım Elektrot Çapları için)				
Elektrot Çapı (cm)	Amper	Depolama Oranı (kg/saat)		
		%98 Ar + %2 O ₂	%75 Ar + %25 CO ₂	Saf CO ₂
0,089	100	4,0	4,0	3,9
	150	6,3	6,1	6,0
	200	9,2	8,9	8,8
0,114	125	4,2	4,2	4,0
	150	5,4	5,2	5,1
	200	8,3	8,2	7,9
	250	11,6	11,3	11,0
0,159	250	9,7	9,5	9,2
	275	11,5	11,3	10,9
	300	13,4	13,1	12,6
	350	16,8	16,4	15,9

5.1. Elektrot Maliyeti

Kaynak işinde, birim uzunluk için kullanılan elektrot miktarının hesaplanması adıımıdır. Bu hesap dolgu metali ağırlığı başına elektrot fiyatı ile kaynak metali miktarı ile çarpılması ve kaynak yöntemine bağlı olan dolgu verimine bölünmesi ile elde edilir [7].

$$\text{Elektrot Maliyeti (\$/m)} = \text{El. Ağırlığı(kg/m)} * \text{El. Fiyatı(\$/kg)} / \text{Dolgu Verimi} \quad (3)$$

5.2. Gaz Maliyeti

Eğer kullanılan kaynak metodu koruyucu gaz gerektiriyorsa, koruyucu gaz maliyeti de mutlaka dikkate alınmalıdır. Gaz maliyeti Tablo 7.'de verilen koruyucu gaz akış oranı dikkate alınarak hesaplanır [7].

$$\text{Gaz Maliyeti (\$/m)} = \text{Gaz Akış Oranı (m}^3\text{/saat)} * \text{Gaz Fiyatı (\$/m}^3\text{)} / \text{Depolama Oranı (kg/saat)} \quad (4)$$

Tablo 7. Koruyucu Gaz Akış Oranı (m³/saat)

Yaklaşık Koruyucu Gaz Akış Oranları (m ³ /saat)					
Tel Çapı (m ³ /saat)	0,089	0,114	0,159	0,198	0,318
	0,85	0,99	1,13	1,27	1,27

5.3. Toz Maliyeti

Eğer kaynaklama işlemi toz kullanımını gerektiriyorsa toz maliyeti de hesaplanmalı ve toplam kaynak maliyeti bulunurken dikkate alınmalıdır. Toz oranı, harcanan elektrot ağırlığı başına kullanılan toz ağırlığıdır. Genel bir değer olarak, ortalama bir birim elektrot ağırlığına (1 kg) karşın bir buçuk birim toz (1,5 kg) kullanıldığı kabul edilebilir [7].

$$\text{Toz Maliyeti (\$/m)} = \text{Dolgu Metali (kg/m)} * \text{Toz Ağırlığı} * \text{Toz Maliyeti (\$/kg)} \quad (5)$$

5.4. Tel Maliyeti

Yarı otomatik veya tam otomatik GMAW veya SAW kaynağı için kaynak teli maliyeti aynı metalik elektrot maliyeti formülü kullanılarak hesaplanabilir [7].

6. Dolaylı ve Kaynak İşgücü Maliyetlerinin İncelenmesi

Kaynak işinde çalışan işçilerin ücretleri ve üretim aşamasında aktif olarak rol almayan ücretler kaynak maliyetinin önemli bir kısmını oluşturur [8]. Bu bölümde ilk olarak; işletmenin yönetim ve bakım masraflarının dikkate alındığı, üretimle dolaylı olarak ilgili olan maliyetler incelenmiştir. İkinci olarak ise, oldukça önemli olan kaynak işinde çalışan işçilerin ücretleri ve sigorta bedelleri, kısaca işçi ücretleri adı altında toplanan kısımlar incelenmiştir.

6.1. Dolaylı Maliyetlerin İncelenmesi

Bu bölümde incelenen üretimle doğrudan ilgili olmayan (dolaylı) maliyetler üretim aşamalarının belirli kısımlarında rol alır. Yönetimde çalışanların maaşları, reklam maliyetleri, bina kiralari, sosyal sigorta vb. maliyetler dolaylı maliyetlerdir. Ayrıca büyük işletmelerde, kaynak bölümleri gibi özel bölümler mevcut olabilir. Bu özel bölümün yönetim ve organizasyonunda çalışanların maliyeti ve mevcut projelerin dışında kalanların maliyetlerinin de dikkate alınması gerekir. Bu işletmenin boyutlarına ve üretim konusundaki özelleşme çabasına bağlıdır. Verimi amaçlayan bir yönetim her zaman maliyetleri mümkün olduğunca düşük tutmaya çalışır. Ekonomik olmayan veya fayda sağlamayan işleri elemine edilmesi amaçlanır. Pratikte, tüm bu maliyetlerin toplamı hesaplanabilir veya çalışan işçilerin ücretlerinin belirli bir oranı olarak dikkate alınabilmektedir.

Kaynak dolaylı maliyeti düşünüldüğünde; yöneticilerin maaşları, malzeme elde etme maliyeti, her bir kaynak işi için projelendirme maliyeti akla ilk gelenlerdir. Ayrıca, kaynak yöntemlerinde güvenlik önlemleri diğer imal usulleri düşünüldüğünde daha maliyetlidir ve bundan dolayı ayrı bir kısımda incelenmelidir. Ulaşım vb. faktörlerin maliyete etkisi bazı durumlarda daha da önem kazanır. Hatta kaldırma ve taşıma ekipmanlarının tedariki maliyeti de hesaplanmalıdır. Kaynak işi ile direk olarak ilgili olmayan ekipman ve malzemelerin satın alınması veya kiralanması konusu da oldukça önemlidir. Büyük işletmelerde kaynak işleri ile ilgili özel bir kaynak bölümü olması, kaynak maliyeti hesapları bu bölümde veya bir alt bölümünde yapılması maliyet analizlerinin sağlıklı olması açısından oldukça yarar sağlar. İşletmelerdeki kaynak bölümleri işçilik ve dolaylı maliyetler için işletmeden işletmeye değişen ücretler oluşturmuştur. Tablo 8.'de genel olarak işletme büyüklüğüne bağlı olan saat başına ücret tablosu verilmiştir [8].

Tablo 8. İşçilik ve Dolaylı Maliyet Oranları

Küçük İşletme	\$7.50/saat - \$15.00/saat
Büyük İşletme	\$15.00/saat - \$35.00/saat
Ortalama	\$20.00/saat

6.2. Kaynak İşgücü Ücretlerinin Maliyetinin İncelenmesi

İşçilik maliyetlerini diğer imal usullerinde olduğu gibi hesaplamak mümkündür. Kaynak işi için iş süresi; işi planlama, malzemelerin hazırlanması, malzemelerin yerleştirilmesi, parçaların konumlarının ayarlanması, gerçek kaynak süresi, alanın temizlenmesi, ürünün incelenmesi, ürünün ve kaynak ekipmanlarının taşınması ve gerekiyorsa kaynak kalitesini belirlemek için gerekli çalışmanın yapılması vb. olarak tanımlanabilir. Tüm bu işler düşünüldüğünde dikkatli bir planlamanın önemi kendiliğinden ortaya çıkar. İşgücü maliyeti hesaplamalarında temel olarak saat başına üretilen kaynak miktarı dikkate alınır.

Fabrikasyon bir kaynaklama işleminde yukarıda kaynak işi süresi için bahsedilen aşamalar adım adım gerçekleştirilebilirken şantiye şartlarında bu aşamaları belirli bir sıra içerisinde gerçekleştirmek mümkün olmayabilir. Tüm bu unsurlar dikkate alınarak işçilik ücretleri maliyetleri incelenmelidir. İşçilik maliyeti yaklaşık olarak aşağıdaki denklem (6) göz önüne alınarak hesaplanabilir [8]:

$$\text{İşçilik Maliyeti ve Diğer İşletme Giderleri} = \text{İşçilik ve Diğer İşletme Giderleri} \quad (6) \\ (\$/\text{saat}) / (\text{Dolgu Oranı (kg/saat)} * \text{Operatör Faktörü})$$

Bu formülde kaynak işçisi ücret oranı hesaplanırken kaynakçının saat olarak ücret oranı formüle yazılabileceği gibi sigorta maliyeti, barınma maliyeti vb. diğer olanakları da kapsayan ücret oranı faktörü de hesaplarda dikkate alınabilir.

6.2.1. Kaynak Hızı

Kaynak işinin tamamlanması için geçen süreye bağlıdır. Zaman faktörü; kaynak operatörünün kabiliyeti, kaynak işlemi türü, kaynak pozisyonu gibi birçok değişkene bağlıdır [8]. Genel olarak; daha önce yapılmış benzer türlerdeki işler için geçen kaynak süresi dikkate alınarak hesaplanabilir. Bu hesap değeri, daha sonra uygulanacak olan maliyet tahmini hesaplarında da kullanılır.

6.2.2. Operatör Faktörü (Devrede Kalma Süresi)

Operatör faktörü; kaynak işçisinin sadece kaynak işi yaptığı sürenin tüm iş süresine olan oranının yüzde biçiminde ifadesidir [9]. Gerçek (asıl) kaynak zamanı ark zamanı olarak da adlandırılır ve kaynakçının kaynak metali ürettiği diğer bir deyişle sadece kaynak yaptığı süre olarak adlandırılır.

Montaj süresi, yerleştirme, izleme işlemleri gibi işlemler hazırlık safhaları olarak adlandırılır. Kaynak sonrası temizleme, hazırlanan birleşimleri taşıma işlemleri ise kaynak zamanı sonrası işlemler olarak ifade edilir. Elektrot değiştirmesi, bir yerden diğer bir yere gitmesi, çay-kahve molaları esnasında birleştirme işlemi yapmadığı unutulmamalıdır. Bütün bunlar düşünüldüğünde toplam çalıştığı süre her zaman toplam kaynak yaptığı süreden daha fazladır. Kaynak yaptığı sürenin toplam çalışma süresine oranı olan operatör faktörü veya iş çevrimi faktörü, genel maliyet analizleri formüllerinde en sık karşılaşılan faktördür. Maliyet analizleri yapılırken doğru biçimde hesaplamalara dahil edilmelidir.

Toplam zaman ifadesi kaynak süresi ve özel işleri de içeren kaynak dışı işler için harcanan zamanın toplamıdır. Kaynak zamanı ifadesi her zaman kendinden daha büyük bir ifadeye bölüneceğinden operatör faktörü oranı daima birden küçük olur. Bu ifadeyi yüzde biçiminde kullanmak daha gerçekçi bir gösterimdir.

Operatör faktörü ifadesi genelde %20 ile %60 arasında değişir. Ancak otomatik kaynak işlerinde bu oran artabilir veya saha kaynaklarında bu oran çevresel faktörlerin etkisiyle azalabilir. Tablo 9.'da kaynak işlemine göre gerçek operatör faktörü testle bulunamadığı durumlarda kullanılacak ortalama operatör faktörü değerleri çeşitli kaynak yöntemine göre verilmiştir [9].

Operatör Faktörü (Devrede Kalma Süresi)= Toplam Ark Süresi/Toplam Zaman (7)

Tablo 9. Kaynak Yöntemleri ve Operatör Faktörü

SMAW	GTAW (TIG)	GMAW (MIG)	FCAW	SAW (Toz Altı)
%30	%20	%50-60	%45-60	%40-60

7. Enerji Maliyeti

Elektrik enerjisi maliyeti, tüm kaynak maliyeti düşünüldüğünde oldukça küçük bir paya sahiptir. Birçok durumda bu pay %1'den daha küçük olmaktadır [10]. Toplam enerji maliyetinin hesaplanabilmesi için enerji birim fiyatının (\$/kWsaat) bilinmesi yeterlidir.

Enerji Maliyeti (\$/m)= Amper * Volt * Enerji Maliyeti (\$/kWsaat) / (Dolgu Verimi * Kaynak Hızı (cm/dak.) * 60 (dak./saat)/12(cm/saat) * 1000) (8)

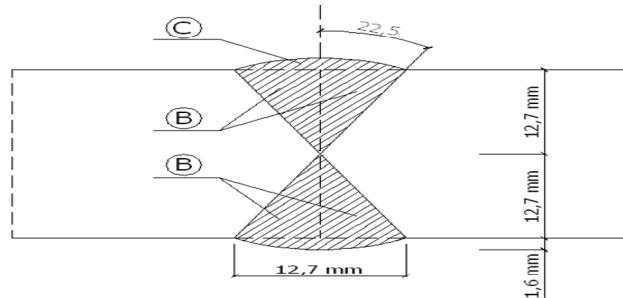
8. Sayısal Uygulama

1,00 m. Uzunluğundaki Şekil 2.'de verilen küt kaynağı için gerekli kaynak maliyeti aşağıdaki verileri kullanarak SMAW, FCAW ve GMAW yöntemleri ile yapılması hali için yaklaşık olarak hesaplanmıştır.

Elektrot SMAW: 0,476 cm. çapında, 35,56 cm. uzunluğunda olup 25 volt ve 250 amperde çalışan E7018'dir. Uç kaybı: 5,08 cm. olarak alınabilir. Elektrot maliyeti yaklaşık olarak 1,25 \$/kg'dır.

Elektrot FCAW: 0,238 cm çapında, 31 volt ve 450 amperde çalışan E70T-1'dir. Elektrot maliyeti: 1,75 \$/kg'dır.

Elektrot GMAW: 0.114" çapında ve 125 amperde çalışan ER70S-3'dür. Elektrot maliyeti: 0.75 \$/kg'dır.



Şekil 2. Çift V Kaynağı

Tüm kaynak yöntemleri için işçilik ve diğer işletme giderleri 10 \$/saat olarak alınmıştır. FCAW yöntemi için gaz maliyeti 3 \$/m³ ve GMAW yöntemi için gaz maliyeti 6 \$/m³ olarak hesaplanmıştır. Tüm sistemler için enerji maliyeti 0.30 \$/kWsaat kabul edilmiştir.

Adım 1: İşçilik ve diğer işletme giderleri hesaplanmalıdır.

SMAW Yöntemi:

E7018 için dolgu oranı Tablo 3.'den 2,431 kg/saat, Operatör Faktörü Tablo 9.'dan %30 olarak alınabilir ve denklem (6)'dan işçilik giderleri hesaplanabilir:

İşçilik Maliyeti ve Diğer İşletme Giderleri= $15/(2,431*0.30)= 20,57$ (\$/kg) bulunur.

FCAW Yöntemi:

E70T-1 için dolgu oranı Tablo 4.'den 6,804 kg/saat, Operatör Faktörü Tablo 9.'dan %45 olarak alınabilir ve denklem (6)'dan işçilik giderleri hesaplanabilir:

İşçilik Maliyeti ve Diğer İşletme Giderleri= $15/(6,804*0,45)= 4,90$ (\$/kg) bulunur.

GMAW Yöntemi:

ER70S-3 için dolgu oranı Tablo 6.'den 4,00 kg/saat, Operatör Faktörü Tablo 9.'dan %50 olarak alınabilir ve denklem (6)'dan işçilik giderleri hesaplanabilir:

İşçilik Maliyeti ve Diğer İşletme Giderleri= $15/(4,000*0.50)= 7,50$ (\$/kg) bulunur.

Adım 2: Elektrot Maliyeti hesaplanmalıdır.

SMAW Yöntemi:

E7018 Elektrot için SMAW dolgu verimi tablosundan Tablo 3.'den %74.6 olur.

Elektrot uzunluğu ve uç kaybı verildiğinden net dolgu verimi hesaplanabilir:

Net Elektrot Verimi= $(35,56-5,08)/35,56*0.746= 0.639$ veya %63.9 elde edilir.

Elektrot maliyeti, birim maliyet 1,25 \$/kg olduğundan denklem (3) ile hesaplanabilir:

Elektrot Maliyeti= $1,25/0.639= 1,96$ (\$/kg) elde edilir.

FCAW Yöntemi:

E70T-1 Elektrot için FCAW dolgu verimi tablosundan Tablo 4.'den %85 olur.

Elektrot maliyeti, birim maliyet 1,75 \$/kg olduğundan denklem (3) ile hesaplanabilir:

Elektrot Maliyeti= $1,75/0,85= 2,06$ (\$/kg) elde edilir.

GMAW Yöntemi:

ER70S-3 Elektrot için GMAW dolgu verimi tablosundan Tablo 5.'den %93 olur.

Elektrot maliyeti, birim maliyet 0,75 \$/kg olduğundan denklem (3) ile hesaplanabilir:

Elektrot Maliyeti= $0,75/0,93= 0,81$ (\$/kg) elde edilir.

Adım 3: Yöntemde kullanılan koruyucu gazın hesabı yapılmalıdır.

SMAW Yöntemi: Koruyucu gaz kullanılmamaktadır.

FCAW Yöntemi:

Koruyucu gaz akış oranı Tablo 7.'den 1,27 (m³/saat), depolama oranı Tablo 4.'den 6,804 (kg/saat) alınabilir ve denklem (4) ile koruyucu gaz maliyeti hesaplanabilir:

Koruyucu Gaz Maliyeti= $1,27*3\$/m^3 /6,804= 0.56$ (\$/kg) elde edilir.

GMAW Yöntemi:

Koruyucu gaz akış oranı Tablo 7.'den 0,99 (m³/saat), depolama oranı Tablo 4.'den 4,00 (kg/saat) alınabilir ve denklem (4) ile koruyucu gaz maliyeti hesaplanabilir:

Koruyucu Gaz Maliyeti= $0,99*6\$/m^3 /4,00= 1,48$ (\$/kg) elde edilir.

Adım 4: Yöntemlerde toz kullanılmadığından hesabı yapılmaz.

Adım 5: Yöntemlerde enerji maliyeti yaklaşık olarak dikkate alınmıştır.

SMAW Yöntemi:

Güç Maliyeti= $0,3 \cdot 25 \cdot 250 / (1000 \cdot 2,431) = 0,77$ (\$/kg) elde edilir.

FCAW Yöntemi:

Güç Maliyeti= $0,3 \cdot 31 \cdot 450 / (1000 \cdot 6,804) = 0,62$ (\$/kg) elde edilir.

GMAW Yöntemi:

Güç Maliyeti= $0,3 \cdot 25 \cdot 125 / (1000 \cdot 6,804) = 0,14$ (\$/kg) elde edilir.

Adım 6:

İlk altı beş için birim ağırlık cinsinden maliyet verilmiştir. Altıncı adımda birim boy cinsine çevrilebilmesi için kaynağın birim boy ağırlığının hesaplanması gerekmektedir. Birim boy ağırlığı hesaplamak için kaynak kesiti belirli geometrik şekillere ayrılır ve Tablo 1. kullanılarak istenen ağırlık değeri elde edilebilir.

B: Üçgen : $\rightarrow T=1,27$ cm. ve $S=22,5^\circ$ $\rightarrow 0,262$ kg/m * 4 $\rightarrow 1.048$ kg/m

C: Takviye : $\rightarrow T=1,27$ cm. ve $H=0,16$ cm $\rightarrow 0.106$ kg/m * 2 $\rightarrow 0,212$ kg/m.

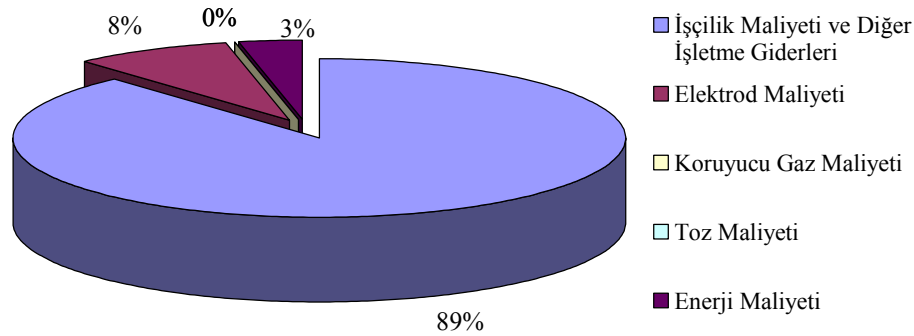
Toplam Kaynak Metali Birim Boy Ağırlığı (kg/m): $\rightarrow 1.260$ kg/m.

Adım 7:

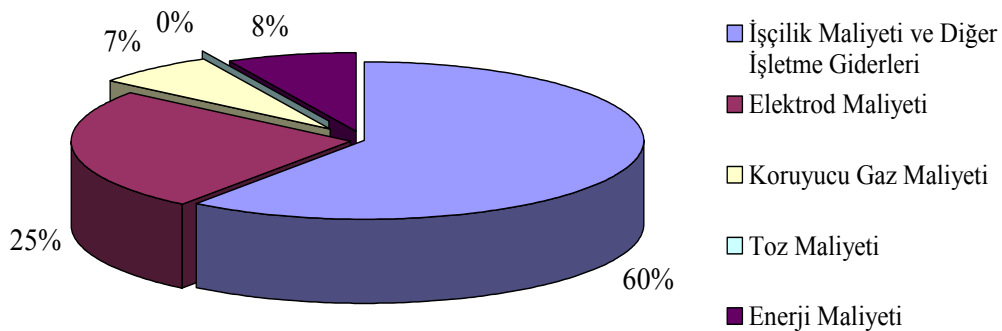
SMAW Yöntemi: Toplam Kaynak Metali Birim Boy Ağırlığı = 29,36 (\$/m)

FCAW Yöntemi: Toplam Kaynak Metali Birim Boy Ağırlığı= 10,26 (\$/m)

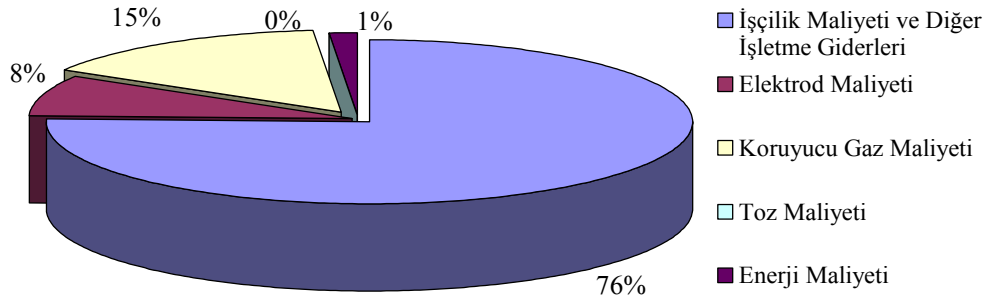
GMAW Yöntemi: Toplam Kaynak Metali Birim Boy Ağırlığı= 12,51 (\$/m)



Şekil 3. Kaynaklı Birleşimin SMAW Yöntemi Kullanılması Durumunda Maliyeti



Şekil 4. Kaynaklı Birleşimin FCAW Yöntemi Kullanılması Durumunda Maliyeti



Şekil 5. Kaynaklı Birleşimin GMAW Yöntemi Kullanılması Durumunda Maliyeti

9. Sonuçlar

Bu çalışmada, kaynaklı birleşimler için maliyet analizi yöntemleri incelenmiş ve sayısal uygulama için farklı kaynak yöntemleri ile kaynaklı bir birleşim incelenmiştir. İncelenen tüm kaynak yöntemlerinde işçilik maliyetleri ve diğer işletme giderleri maliyet analizlerinde en büyük payı almıştır.

Kaynaklı birleşimler için maliyet hesaplamaları tablolardan seçilerek hesaplanabileceğinden kullanışlı ve ileriye dönüktür. Kaynak yöntemi seçimi, kaynak geometrisi, elektrodun fiyatı ve özellikle işçilik bedeli maliyet analizinde önemli bir paya sahip olduğundan hassas şekilde tespit edilmelidir.

Kaynak maliyeti hesaplama teknikleri oldukça güvenilir ve pratik tecrübelerle karşılaştırılarak geliştirildiyse de hesap sonuçlarının maliyet denklemlerine girilen veri kadar sağlıklı olabileceği unutulmamalı, maliyet analizlerindeki birçok faktöre bağlı birçok değişken olduğu ve hesapların belirli kabuller altında yapıldığı asla göz ardı edilmemelidir.

Kaynaklar

- [1] Rosenthal, J., Ten Steps to Reducing Your Welding Costs, http://www.weldinginfocenter.org/econ/econ_02.html
- [2] Silva, C.R, Ferraresi, V.A., Scotti, A., A Quality and Cost Approach for Welding Process Selection, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences, 22, 3, Rio de Janeiro, 2000.
- [3] http://www.ssabdirekt.com/templates/Article_List_5722.aspx
- [4] Lindberg, B., Materials Joining Economics, Welding and Other Joining Processes, Blitz Publishing, 1985.
- [5] Tweeddale, J., Costs in Welding, Chapter 7, Welding Fabrication Vol.3, Elsevier Publishing, New York, USA, 1969.
- [6] Jeffus, L., Johnson, H., Estimating and Comparing Weld Metal Costs, Welding Principles and Applications, 2nd. Edition, Delmar Publishing, USA, 1988.
- [7] Giachino, W.J., Production Economy and Cost Estimating, Welders Technology 2nd. Edition, Atp Publication, USA, 1973.
- [8] Lyttle, K.A., Stapon, W.F., Choosing Right Consumables to Reduce Welding Cost, Practical Welding Today, September-October Issue, USA, 1997.
- [9] Gülşan, M., Örtülü Elektrot, Gaz Altı, Toz Altı, Özlü Tel ile Yapılan Kaynak Yöntemlerinde Maliyet Analizi, TMMOB Kaynak Teknolojisi 1. Ulusal Kongresi Bildirileri, 13-15 Kasım 1997, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara, 1997.
- [10] Weman, K., Welding Process Handbook, Esab Research, CRC Press, 2003.

UZAY KAFES YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

Mustafa Sönmez^a, Hakan Sur^b, M. Aydın Kömür^a

^aAksaray Üniversitesi, Müh. Fak., İnş. Müh. Böl. 68100, Aksaray

^bİlci İnşaat, 06610, ANKARA

Özet

Bu çalışmada, uzay kafes sistemlerinin doğrusal olmayan statik analizleri ve bilgisayar uygulaması sunulmuştur. Geometriden kaynaklanan doğrusal olmayan davranış yanında malzemeden kaynaklanan burkulma, akma, kalıcı şekil değiştirme gibi durumlarda analize dahil edilmiştir. Üç boyutlu kafes elemanı Updated Lagrangian yaklaşımı ile sonlu elemanlar metodu kullanılarak formüle edilmiştir. Kuvvet ile yer değiştirmeler arasındaki lineer olmayan ilişkinin belirlenmesinde, artımsal-yinelemeli metotlardan biri olan “Genelleştirilmiş Yer Değiştirme Kontrol Metodu” kullanılmıştır. İki sayısal örnekten elde edilen sonuçlar literatürde bulunan diğer çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uzay Kafes Yapıları, Doğrusal Olmayan Analiz, Burkulma, Akma.

Giriş

Uzay kafes sistemler, birbirlerine düğüm noktalarından bağlı, basit çekmeye veya basınca çalışan doğrusal çubuklar ağından kurulu düzenlerdir. Bu sistemler genellikle spor salonları, yüzme havuzları, sanayi yapıları, depolar, stadyumlar, benzin istasyonu ve uçak hangarları gibi geniş açıklıklı mekânların örtülmesi için kullanılırlar. Diğer yapı sistemleri ile karşılaştırıldığı zaman, uzay kafes sistemler kolayca biçimlendirme, hazır yapım ve montaj kolaylıkları, hafiflik ve rijitlik gibi üstünlüklere sahip olmasına rağmen, son yıllarda çok sayıda uzay kafes sistemi çökmüş ve yüzlerce can kaybı meydana gelmiştir [1,2]. Yapılan incelemeler sonucunda, uzay kafes sistemlerin yüksek hiperstatikliğe sahip olmalarına rağmen bu çökmelerin ani olduğu ve çökmeden önce çok az uyarı verdiği saptanmıştır. [1,3] Araştırmacılar, ani çökmenin nedeni olarak bir elemanın burkulma sonrasında kendi taşıdığı yükü komşu elemanlara aktararak tüm sistemin yıkılmasını tetikleyeceği kanaatine varmışlardır. Bundan dolayı bu sistemlerin analizi yapılırken burkulma, düğüm noktalarının yer değiştirmesi, plastik şekil değiştirme gibi özelliklerinin hepsinin analize dahil edilmesi gereklidir. Buradan da anlaşılabileceği üzere bu özelliklerin hepsi veya bir kısmı doğrusal elastik analizle dahil edilemediği için doğrusal olmayan analiz yöntemlerine ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada, ilk önce uzay kafes elemanın formülasyonu verilmiş, daha sonra farklı gerilme-birim şekil değiştirme kabulleri yapılarak sistem davranışının nasıl değiştiği araştırılmıştır.

Kafes Elemanın Modellenmesi

Birçok araştırmacı, geometri ve malzeme bakımından doğrusal olmayan sonlu elemanlar yönteminde, eleman rijitlik matrislerinin türetilmesinde Updated Langrain konfigürasyonunun kullanılmasının uygun olacağını işaret etmişlerdir [4,5]. Updated Langrain yaklaşımında tüm değişkenler en son bilinen deforme olmuş

konfigürasyona göre oluşturulduğu için sistem ilk ve en son bilinen konfigürasyonların arasındaki toplam yer değiştirmelerden dolayı meydana gelen büyük yer değiştirmelerden etkilenmeyecektir. Buna göre virtüel iş teoremi ve Updated Lagrangian yaklaşımı kullanılarak aşağıdaki denklem yazılabilir.

$$\int_{1V} {}_1C_{ijkl} {}_1\varepsilon_{ij} \delta {}_1\varepsilon_{ij} dV + \int_{1V} {}_1\sigma_{ij} \delta {}_1\eta_{ij} dV + {}_1R = {}_2R \quad (1)$$

Burada ${}_1\sigma_{ij}$ artımsal gerilmeyi, ${}_1\varepsilon_{ij}$ artımsal Green-Lagrangian birim uzamasını ve ${}_1\eta_{ij}$, artımsal Green-Lagrangian yer değiştirmelerin doğrusal olmayan kısmını göstermektedir. Denk. (1) deki alt ve üst indis olarak kullanılan 1 ve 2 sayıları konfigürasyonları göstermektedir. Burada üç farklı konfigürasyon vardır: ilk konfigürasyon 0 ile, en son bilinen konfigürasyon 1 ile ve en son bilinmeyen konfigürasyon ise 2 ile gösterilmiştir. Sol üst değerin olduğu, sol alt indis ise değerin bulunduğu konfigürasyonu işaret etmektedir. Denk. (1)'deki artımsal virtüel iş denklemi kafeslerin, çerçeve, kabuk ve katı elemanların doğrusal olmayan analizleri için kullanılabilir [6].

Bir uzay kafes elemanı için Denk. (1) yeniden düzenlenmelidir. Başlangıçta boyuna düz olan bir uzay elemanının x -ekseni eleman eksenini, y ve z eksenleri ise elemanın en kesit düzlemini göstermek üzere, Denk. (1) deki değişkenler aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir.

$${}_1\sigma_{ij} = \sigma_x = E\varepsilon_x \quad (2)$$

$${}_1\varepsilon_{ij} = \varepsilon_x = e_x + \eta_x \quad (3)$$

Denk. (1)'deki gerilme ile birim uzama arasındaki ilişkiyi temsil eden ${}_1C_{ijkl}$ tensörü, izoparametrik malzeme için elastisite modülü, E , olarak tanımlanmıştır. Kafes eleman için Denk. (1) yeniden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\underbrace{\int_L EAe_x \delta e_x dx}_{(a)} + \underbrace{\int_L EA\eta_x \delta e_x dx}_{(b)} + \underbrace{\int_L EAe_x \delta \eta_x dx}_{(c)} + \underbrace{\int_L EA\eta_x \delta \eta_x dx}_{(d)} + \underbrace{\int_L A\sigma_x \delta \eta_x dx}_{(e)} + \underbrace{{}_1R}_{(f)} = \underbrace{{}_2R}_{(g)} \quad (4)$$

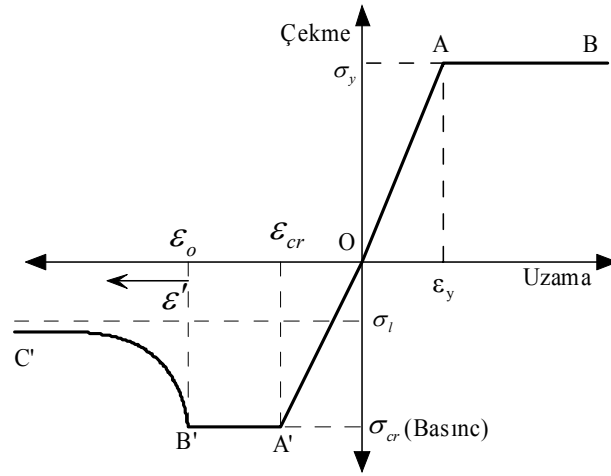
Kafes elemanın üç boyutlu uzayda iki düğüm noktası ve her bir düğüm noktasının üç serbestlik derecesi vardır. Kafes elemanı formüle edilirken, elemanın eksensel ve yanal yer değiştirmelerinin lineer şekil fonksiyonları kullanılarak düğüm noktaları cinsinden yazılması gereklidir. Elde edilen gerilme ve birim şekil değiştirmeler Denk. (4)'de yerine yazılır ve gerekli matematiksel işlemler yapılırsa Denk. (5) elde edilir.

$$\underbrace{[k_e]}_a + \underbrace{[k_1]}_b + \underbrace{[k_2]}_c + \underbrace{[k_3]}_d + \underbrace{[k_p]}_e \{d\} + \underbrace{\{{}_1F\}}_f = \underbrace{\{{}_2F\}}_g \quad (5)$$

Denk. (5) artımsal matris denge denklemi olarak bilinir. Burada $[k_e]$ elastisite modülünün bir fonksiyonu olan rijitlik matrisi, $[k_p]$ geometrik rijitlik matrisi olarak adlandırılır ve bu matris, artıma başlamadan önce elemana etki eden ilk gerilmelerin bir fonksiyonudur. $[k_1]$, $[k_2]$, ve $[k_3]$, ise doğrusal olmayan etkilerden dolayı oluşan rijitlik matrisleridir ve bu üç matris yer değiştirmelerin bir fonksiyonudur. Ayrıca $\{d\}$ yer değiştirme vektörünü $\{^1F\}$ ve $\{^2F\}$ ise düğüm noktalarındaki dış yükleri temsil etmektedir. Denk. (5)'de verilen rijitlik matrislerinin türetilmesi kaynaklarda bulunabilir [7, 8].

Akma ve Burkulma

Kafes elamanların eksensel basınca veya çekmeye çalıştıkları varsayıldığından dolayı sadece eksensel gerilmeler söz konusudur. Kafes eleman ideal elasto-plastik davrandığı kabul edilmiştir. Eksensel kuvvetin çekme veya basınç olduğu durumlarda gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 1' de verilmiştir.



Şekil 1: Çekme ve basınç kuvveti altında gerilme–birim şekil değiştirme grafiği

Çekme kuvvetinde gerilme–birim şekil değiştirme eğrisi Denk. (6) ve (7) verilmiştir.

$$\sigma = E\epsilon, \quad \epsilon < \epsilon_y \quad (6)$$

$$\sigma = \sigma_y, \quad \epsilon > \epsilon_y \quad (7)$$

Burada σ_y ve ϵ_y sırasıyla akma gerilmesi ve akma birim şekil değiştirmesini ifade etmektedir. Basınçta gerilme–birim kısalma eğrisindeki akma platosu, sadece yüksek narinlik oranları için mevcuttur. Basınçta gerilme–birim kısalma eğrisi aşağıdaki eşitliklerle açıklanır:

$$\sigma = E\epsilon, \quad |\epsilon| < |\epsilon_{cr}| \quad (8)$$

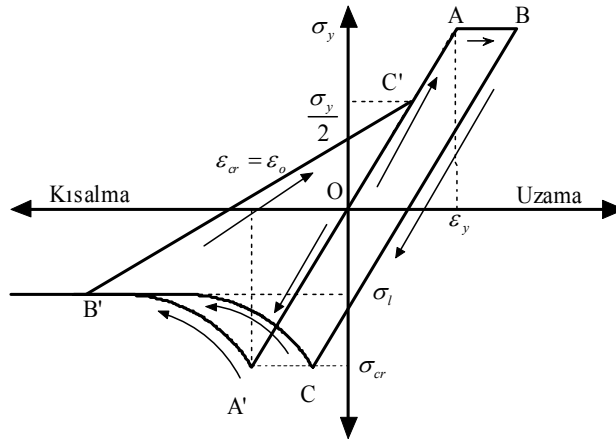
$$\sigma = \sigma_{cr} \quad |\epsilon_{cr}| < |\epsilon| < |\epsilon_0| \quad (9)$$

$$\sigma = \sigma_l + (\sigma_{cr} - \sigma_l) e^{(-X_1 + X_2 \sqrt{|\epsilon'|}) (|\epsilon'|)} \quad |\epsilon| > |\epsilon_0| \quad (10)$$

Karakteristik olarak burkulma durumunu sergileyen uzay kafes yapılarında, gerilmenin tersine dönmesi (yük boşalmasının), yapının şeklinde bir değişik

meydana getirir. Bu gerilme tersine dönmesi, genellikle gerilme–birim şekil değiştirme eğrisi yardımı ile analizlere dahil edilir. Analizler, hem yüklemde hem de yük boşalması benimsenen gerilme–birim şekil değiştirme eğrisinde yapılan kabullere bağlı olarak, aşağıda verildiği gibi üç kategoriye ayrılabilir:

- **Elastik Analiz (EA):** Elastik analizde akma ve burkulma gerilmeleri çok büyük kabul edildiği için gerilmelerin bu seviyelere gelmediği varsayılır. Gerilmelerin her zaman Şekil 1 ve 2’deki A ile A’ noktaları arasında olduğu varsayılır.
- **Elastik Burkulma Sonrası Analizi (EBS):** Bu analizde, gerilmelerin burkulma ve akma seviyesine geldiği varsayılır fakat yük boşalması veya burkulma olduğu zaman sistemdeki gerilmeler gerilme-birim şekil değiştirme eğrisini takip ederek geri döner. Yani, yük tamamen kalktığı zaman kalıcı bir deformasyon olmadığı varsayılır. Şekil 2’de görüleceği gibi, O noktası başlangıç olarak seçilirse, gerilmelerin çekme yüklemesi durumunda O-A-B yolunu takip ettiği ve çekmede boşalma olduğunda ise yine B-A-O yolu ile geri döndüğü varsayılır. Basınç yüklemesi durumunda O-A'-B' yolunu, yükün boşalması halinde ise yine aynı şekilde B'-A'-O yolunu takip ettiği varsayılır.
- **Elastik Olmayan Burkulma Sonrası Analizi (IBS):** Bir elemanda yük boşalması meydana geldiğinde, birim şekil değiştirmeler tam olarak geri dönmeyebilir ve elemanda bir miktar kalıcı şekil değiştirme meydana gelir. Bu durumunun modelinin oluşturulması son derece zordur. Şekil 2’de görüldüğü gibi, gerilmeler çekme yüklemesi durumunda O-A-B yolunu izler, bu noktada yük boşaltılmaya başlanırsa ve basınç uygulanırsa B-C-B' yolunu takip eder. Gerilmeler basınç yüklemesi durumunda O-A'-B' ve basınç durumunda yük boşalması halinde ise B'-C'-A-B yolunu izleyecektir. IBS yaklaşımı gerçek kafes eleman davranışına en yakın olan davranışı temsil eder.



Şekil 2: Elastik olmayan çekme sonrası ve burkulma sonrası gerilme- birim şekil değiştirme grafikleri

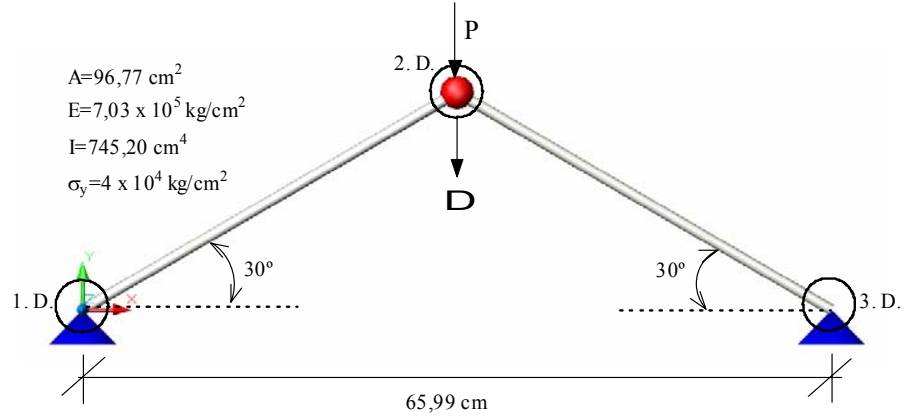
Sayısal Örnekler

Burada iki adet örnek verilmektedir. Bu örneklerin analizlerinde artımsal-yinelemeli metotlardan biri olan “Genelleştirilmiş Yer Değiştirme Kontrol Metodu” kullanılmıştır. Bu sayısal metot hakkında ayrıntılı bilgi kaynak [4,7] de bulunabilir. Örneklerin çözümünde, her artımsal adımda sadece bir yineleme kullanılmıştır. Burkulma sonrası davranışın temsil edilmesinde $X_1=50$, $X_2=100$ ve $\sigma_1=0.4*\sigma_{cr}$ sabitleri kullanılmıştır. Şekil 1’deki A’-B’ arasındaki kısım olmadığı varsayılmıştır.

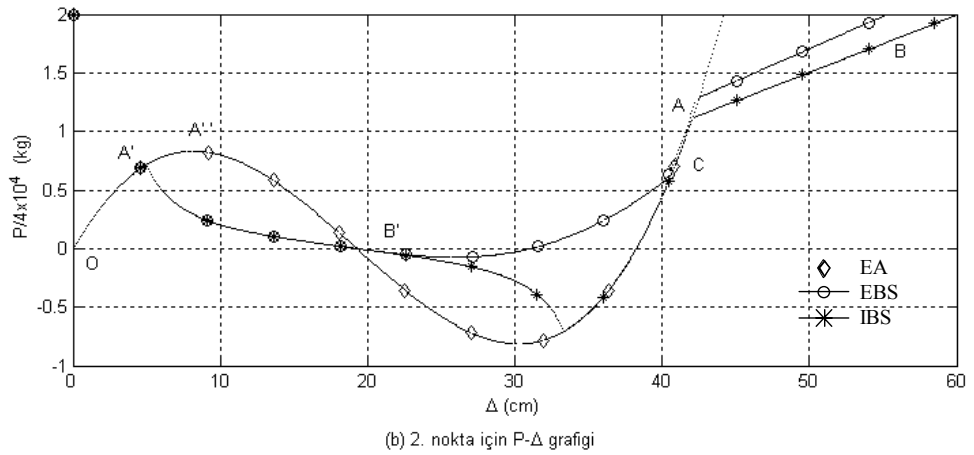
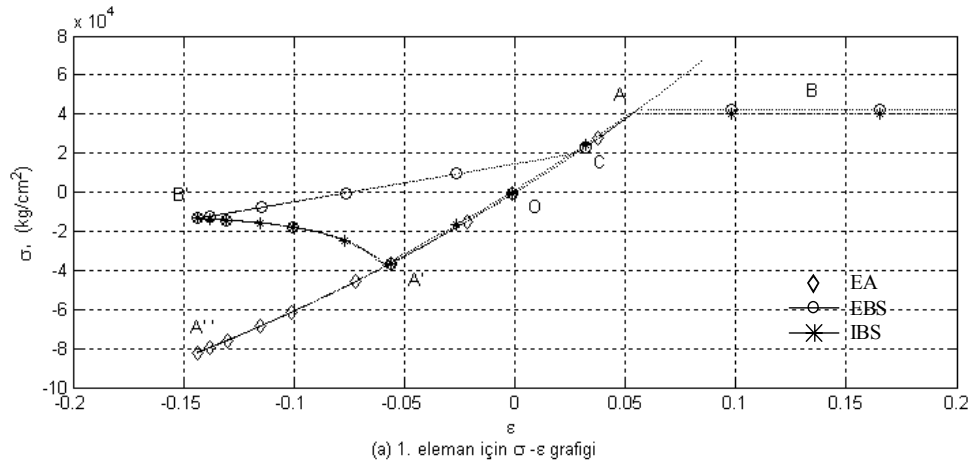
İki Elemanlı Düzlemsel Sistem:

Şekil 3’ de verilen iki elemanlı düzlemsel sistem birçok araştırmacı [7, 9, 10] tarafından kontrol problemi olarak kullanılmıştır. EA, EBS ve IBS analiz sonuçları kullanılarak gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 4a’da ve 2 nolu düğüm noktası için yük-düşey yer değiştirme eğrisi Şekil 4b’de verilmiştir. Gerilme-birim şekil değiştirme grafiğinde yükleme EA’de O-A’-A’’-A’-O-C-A yolunu, EBS’de O-A’-B’-A’-O-A-B yolunu ve IBS’de ise O-A’-B’-C-A-B yolunu izlemiştir. Yani 1 nolu eleman IBS analizinde ilk önce burkulmuş daha sonra yükler basınçtan çekmeye dönmüş ve daha sonra çekme gerilmesi nedeni ile akmıştır.

Tablo 1 de bu çalışmada elde edilen sonuçlar Ramesh [7]’nin sonuçları ile birlikte verilmiş ve karşılaştırılmıştır. Tablo 1’de görüleceği gibi bu çalışmadan elde edilen sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında %0.3 den daha az bir fark oluşmuştur. Bu farklar, kullanılan rijitlik matrislerinden veya kullanılan sayısal yöntemlerden kaynaklanmış olabilir.



Şekil 3: İki elemanlı düzlemsel sistemin geometrisi ve malzeme özellikleri

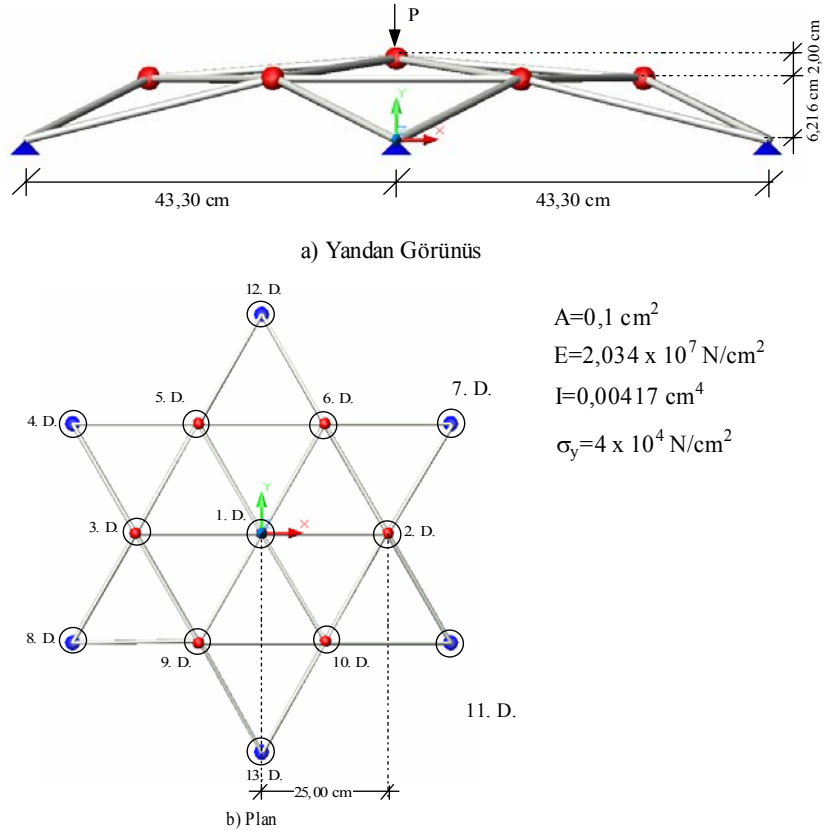


Şekil 4: İki elemanlı düzlemsel sistem için a) 1 nolu elemanın gerilme-birim şekil değiştirme grafiği b) 2 nolu düğümün yük-düşey yer değiştirme grafiği

Yirmi Dört Elemanlı Yıldız Kubbe

Yüklem durumu, geometrik özellikleri ve boyutları Şekil 5’de verilen yıldız kubbe sistemin 24 elemanı ve 13 düğüm noktası vardır. Sistemin 1 nolu düğüm noktasında düşey bir P yükü uygulanmış ve EA, EBS ve IBS analizleri yapılarak 1 nolu düğüm noktasının yer değiştirmesi ve 1 nolu eleman (düğüm 1 ile düğüm 2 arasındaki eleman) için gerilme-birim şekil değiştirme grafikler çizilmiştir. 1 nolu elemanın gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 6a’da ve 1 nolu düğüm noktası için yük-yer değiştirme eğrisi ise Şekil 6b’de verilmiştir. Gerilme-birim şekil değiştirme ve yük-yer değiştirme ilişkisi EA için 0-A’-A’’-B’-C-A-B yolu, EBS için 0-A’-B’-A’-O-A-B yolunu ve IBS için ise 0-A’-B’-C-A-B yolunu izlemiştir.

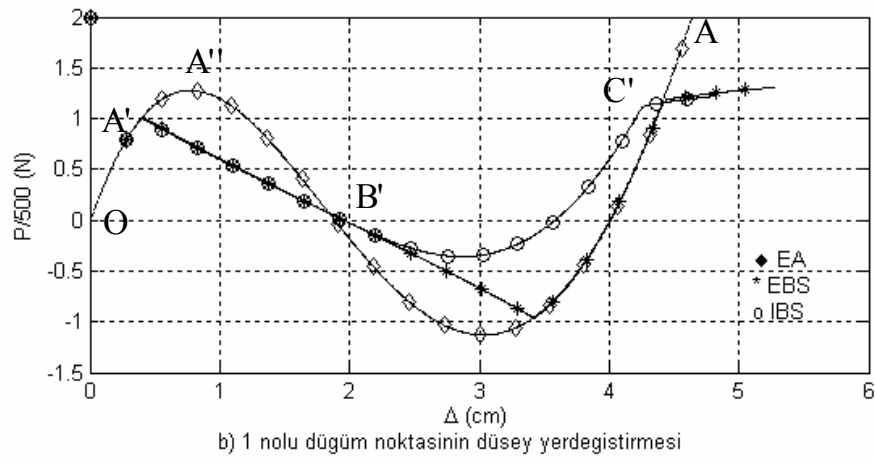
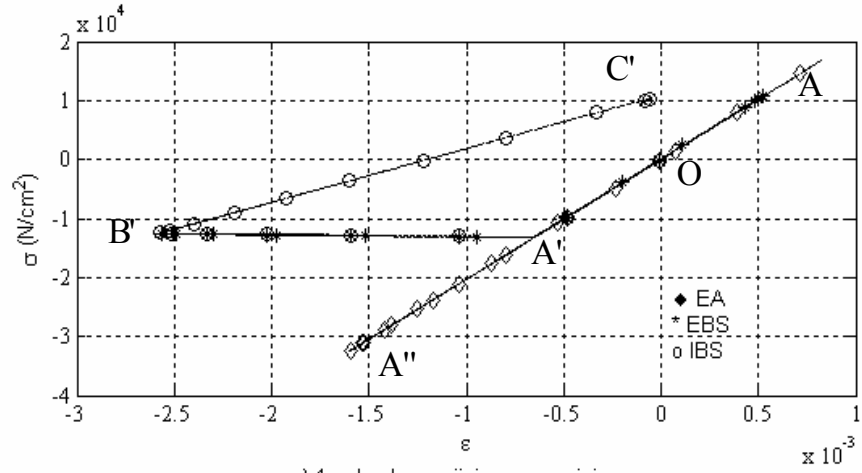
Tablo 1 de bu çalışmada elde edilen sonuçlar Ramesh’nin [7] sonuçları ile birlikte verilmiş ve karşılaştırılmıştır. Sayısal değerlerden de anlaşılacağı gibi bu çalışmadan elde edilen sonuçlar daha önce yapılan çalışmalardaki sonuçlarla karşılaştırıldığında yaklaşık %1’lik bir fark gözlenmiştir.



Şekil 5: Yirmi dört elemanlı yıldız kubbenin geometrik ve malzeme özellikleri

Sonuç

Geometriden ve malzemeden dolayı meydana gelen doğrusal olmayan etkiler uzay kafes yapıların analizinde göz önüne alındığında geleneksel elastik analizlerin verdiği sonuçlardan çok farklı sonuçlar elde edilmektedir. Akma ve burkulma, yük boşalması gibi etkiler göz önüne alınarak uzay kafes yapıların maksimum yük taşıma kapasitesinin gerçekçi bir şekilde çözülmesi sadece “Elastik olmayan burkulma sonrası analizi (IBS)” ile mümkündür.



Şekil 6: Yirmi dört elemanlı yıldız kubbe için a) 1 nolu elemanın gerilme-birim şekil değiştirme grafiği b) 1 nolu düğümün yük- dikey yer değiştirme grafiği

Tablo 1: Sonuçların Karşılaştırılması

	1. Örnek (ton)		2. Örnek (N)	
	EA (t)	EBS-IBS	EA	EBS-IBS
Ramesh [7]	3316	2864	647	512
Bu çalışma	3324	2860	640	510
Fark (%)	0,24	-0,14	-1,09	-0,39

Kaynaklar

- [1] Smith ET, Space Truss Nonlinear Analysis, Journal of Structural Engineering, No:4 ASCE, 688-705, 1984.
- [2] Topçu, A. , Kar Yüğü ve Çöken Çatılar. <http://mmf.ogu.edu.tr/atopcu>, 2006.
- [3] El-Sheikh, A. Effect of Force Limiting Devices on the Behavior of Space Trusses, Engineering Structures, 21, 34-44, 1999.
- [4] Yang YB ve Kuo SR, Nonlinear Framed Structures, Prentice Hall, Singapore, 1994.
- [5] Bathe KJ., and Bolourchs, S. Large Displacement Analysis of Three Dimensional Beam Structures, Int. Journal for Numerical Methods In Engineering, 14, 901-986, 1979
- [6] McGuire W., Gallagher RH. and Ziemian RD., Matrix Structural Analysis, 2nd Edition, John Wiley & Sonsinc, USA, 2000.
- [7] Sur, H. Uzay Kafes Sistemlerin Sonlu Elemanlar Metodu Kullanılarak Lineer Olmayan Analizi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst. Niğde, 2006.
- [8] Sönmez, M. A Solution Technique For Analysis of Space Truss Structures, Fifth International Congress on Advances in Civil Engineering, İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey, 1 (2002) 185-194.
- [9] Ramesh G. ve Krishnamoorthy CS., Inelastic Post-Buckling Analysis of Truss Structures by Dynamic Relaxation Method, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 37, 3633-3657, 1994.
- [10] Christopher, DH., Blandford, GE. Ve Wang, ST, Post-Buckling Analysis Of Steel Space Trusses, Journal of Structural Engineering, ASCE; Vol. 115, N0:4, 900-919, 1989.

ÇELİK YAPILARDA KOROZYONDAN KORUNMA MALİYETİNİN ARAŞTIRILMASI

Yavuz Selim TAMA, Ali KAFTAN

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli

Özet

Çeliği, diğer yapı elemanlarına göre avantajlı hale getiren, deprem riski yüksek olan bölgelerde kullanılmasını kaçınılmaz kılan, bazı üstün özelliklere sahip olmasıdır. Bunlardan en önemlileri; homojen bir malzeme olması, üretiminin belirli bir denetim altında yapılması, yüksek mukavemetli olması, elastiklik modülünün yüksek olması şeklinde yazılabilir. Bu üstün özelliklerinin yanında çeliğin bazı zayıf yönleri de vardır. Çeliğin en belirgin zayıf yönleri ise; yanıcı olmamakla birlikte ısı yükseldikçe mukavemetinde ve elastiklik modülünde hızlı düşüşler görülmesi ve korozyona karşı çok hassas olması şeklinde sıralanabilir.

Uzun ömürlü bir çelik yapı tasarlamak ancak; çeliğin avantajlarından maksimum düzeyde faydalanmak ve zafiyetlerinden de maksimum düzeyde sakınmakla (gerekli tüm önlemleri almakla) mümkündür. Tabii ki, çeliğin zafiyetlerine karşı alınacak koruma önlemleri yapıya ek bir maliyet getirecektir. Bu ek maliyetin toplam yapı maliyeti üzerindeki etkisi çok önemlidir.

Korozyon, çelik konstrüksiyonlu tüm yapılarda kaçınılmaz bir olaydır. Ancak etkileri ve korozyon sonucu oluşan maddi kayıplar önceden alınacak tedbirlerle en aza indirilebilir. Yatırım maliyetini artıran bu tedbirler, yapının işletme ömrünü artırır, bakım aralığını azaltır ve uzun vadede yapının ekonomik olmasını sağlar.

Bu çalışmada korozyondan korunma maliyetinin çelik taşıyıcı sistem maliyeti üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, imalatı ve montajı gerçekleştirilmiş olan örnek bir çelik yapı ele alınmıştır. Bu örnek yapıda uygulanan korozyondan korunma yöntemi için maliyet hesapları yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda, incelenen yapıda uygulanan korozyondan korunma maliyetinin, toplam çelik taşıyıcı sistem maliyetine oranı ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çelik Yapı, Korozyon, Korozyondan korunma

1. Giriş

Korozyon, çelik konstrüksiyonlu tüm yapılarda kaçınılmaz bir olaydır. Ancak, etkileri ve oluşan maddi kayıplar önceden alınacak tedbirlerle en aza indirilebilir. Yatırım maliyetini artıran bu tedbirler, yapının işletme ömrünü artırır, bakım aralığını azaltır ve uzun vadede yapının ekonomik olmasını sağlar.

Genel olarak korozyon; maddelerin, özel olarak ise metal ve alaşımların, çevrenin çeşitli etkileriyle kimyasal ve elektro kimyasal değişim ya da fiziksel çözünme sonucu aşınmasıdır, [1].

Kullanılan elik malzeme, açık hava koşulları altında bulunduğunda ve korunmaya yönelik gerekli önlemler alınmadığında, dış yüzeyinde değişmeler meydana gelir. Bu değişimlere “**Korozyon**” veya “**Paslanma**” denilir. Demir ve çeliğin büyük bir kısmı her yıl korozyon sonucu kaybedilmekte veya kullanılamaz hale gelmektedir. Korozyon sonucu kaybedilen metal, kendi maliyetinin çok üstünde ekonomik kayıplara neden olmakta, yapılan yatırımların verimini etkilemekte ve ülke ekonomisine kayıp olarak yansımaktadır, [2].

Atmosfer etkisinde kalan elik binalar, köprüler, direkler, enerji nakil hatları, elik çatılar, baraj kapakları, cebri borular, gemiler, korkuluklar, tanklar, depolar vb., metalik yapılar beklenenden daha kısa sreler içinde korozyon nedeniyle kullanılmaz hale gelmektedir, (Resim 1). Bu nedenle korozyon oluşumu kontrol altına alınmalı ve korozyon kayıpları mümkün olduğu kadar azaltılmalıdır.

Bunun başarılabilmesi için mal sahiplerinin, projeye mühendislerinin ve uygulayıcıların korozyon oluşumu ve korozyona karşı alınması gereken önlemler konusunda yeterli bilgi birikimine sahip olması gerekmektedir.

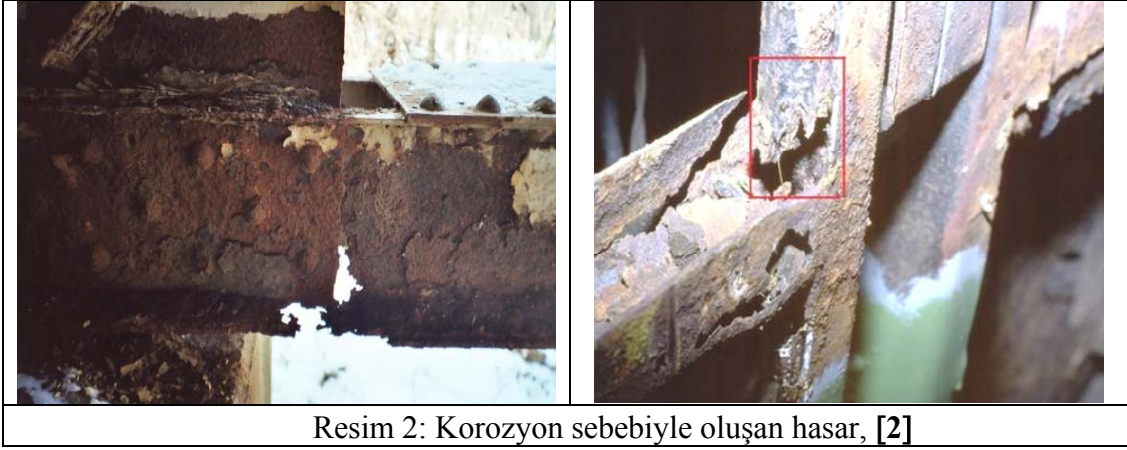


Resim 1: elik malzemede korozyon etkisi, [2]

2. Korozyonun nemi

Korozyonun doğrudan ve dolaylı olarak yol açtığı ekonomik kayıplar, korozyondan korunmak için alınması gereken tedbirlerin önemini belirleyen temel göstergedir. Doğrudan kayıpların en önemli kaynağı, korozyona karşı verilen savaşta başvurulan yöntemlerdir. Korozyona dayanıklı malzemeler, yüzey kaplamaları, etkinliğini azaltmak amacıyla saldırgan ortamlara yapılan ilaveler ve görevini yapamayacak derecede bozunmuş parçaların yenileri ile değiştirilmeleri bir anlamda korozyonun fiyatını oluşurmaktadır, [3].

Görevini yapamayacak derecede bozulmuş bir parçanın yenisi ile değiştirilmesi, ilgili tesisin bir süre kapatılarak üretim durdurulması anlamına gelir ki bu da öncelikle işletme sahibi ve çalışanları için sonrada ülke ekonomisi için önemli bir kayıp demektir. Resim 2’de elik konstrüksiyondaki birleşim bölgesinde oluşan korozyon hasarları görülmektedir. Korozyon hasarı sonucunda buradaki malzeme tamamen işlevini yitirmiştir.



Resim 2: Korozyon sebebiyle oluşan hasar, [2]

Korozyon doğrudan ürün kaybına yol açabildiği gibi (delinmiş depo veya iletim hattı borularında petrol veya su kaybı gibi) ürünü kirleterek kullanılmaz hale dönüştürebilir, (korozyon ürünlerinin ana ürüne karışması). Korozyon ürünlerinin yüzeysel yığılması, ısı geçirgenlik katsayısını önemli ölçüde düşürerek (örneğin; sıcak su ve buhar hazırlama tesislerinde) verimin düşmesine yol açar. Bu türden kayıplar dolaylı kayıplar olarak tanımlanırlar, [4].

Korozyonun önemini oluşturan bir diğer etmen de, emniyet faktörüdür. Örneğin, korozyon sonucunda oluşan beklenmedik malzeme bozunmaları, yüksek basınçlı kazan ve benzeri tesislerin patlamasına ve çevreye zarar vermesine neden olabilir. İlginç örneklerini günlük yaşamımızda gözlemleyebileceğimiz bir diğer tehlike de, gıda maddelerinin korozyon ürünleri ile kirlenerek sağlığa zararlı hale gelmeleridir. Bu konuda da en çarpıcı örnek, her gün kahvaltı sofralarımızın vazgeçilmezi olan zeytin ve peynirlerin içine konulduğu tenekeler verilebilir. Her iki gıda maddesi de asitli ve tuzlu su içerisinde, çelik saçlardan yapılmış tenekelerde saklanmaktadır, [3].

Korozyona ilginin bir başka kaynağı; hammadde rezervlerini koruma zorunluluğudur. Gerçekte büyük bir zorlama sonucu oksitlerinden arıtılarak kazanılan metalleri (örneğin, demir cevherlerinden ham demir elde etmek için yüksek fırında gerçekleştirilen olaylar) korozyon nedeni ile tekrar oksit haline dönüşerek kaybetmek, hammadde rezervlerinin daha kısa sürede tüketilmesi anlamına gelir. Özellikle bazı metal rezervlerinin hızla azalmakta olduğu dikkate alınınca, korozyona ilgi zamanla daha da artacaktır, [3].

Korozyon nedeni ile ülkelerin uğradığı zararın boyutları, metal kullanımının hızla arttığı ikinci dünya savaşından sonra özellikle dikkati çekmeye başlamıştır. Değişik ülkelerde yapılan korozyon kaybı tahminleri, bu kaybın boyutlarının, yalnız metalik malzemeler için dahi gayri safi milli hasılanın %3,5 ile 5'i arasında değiştiğini göstermektedir. Bu alanda bilinen en kapsamlı araştırma ilk olarak ABD'de NBS'nin (National Bureau of Standards) 1978 yılında yayınladığı çalışmadır. Bu çalışmadaki katsayıların uyarlanmış değerleri kullanılarak, 1991 yılına ait ekonomik girdi-çıkış verilerinden yararlanılarak, Türkiye'nin metalik korozyon kaybı tahmini yapılmıştır. Ülkemizin en önemli 15 sektörüne ait toplam önlenabilir korozyon kaybı değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda, toplam korozyon kaybı GSMH'nin %4,36'sı, önlenabilir korozyon kaybı da %1,63'ü olarak tespit edilmiştir. Ülke kaynaklarının verimli kullanılması ve israf edilmemesi

açısından, özellikle önlenebilir olarak ifade edilen % 1,63 lük korozyon kayıplarının önüne geçilmeli ve bunun için gerekli tüm önlemler alınmalıdır, [5].

3. Korozyona Karşı Alınacak Önlemler

Korozyon; önlenmesi oldukça zor olan doğal bir olaydır. Ancak belirli oranlarda yavaşlatılabilir. Korozyonun önlenmesi ya da sınırlandırılması bilinçli bir denetimle sağlanabilir. Bilinçli denetim, malzemenin kullanım amacına bağlı olarak ilk önce tasarım aşamasında başlar. Korozyonun önlenmesi için; tasarım, malzeme, ortam ve ara yüzey ile ilgili değişkenlerin göz önünde bulundurulması gerekir. Söz konusu değişkenler incelenerek korozyonu meydana getiren sebepler tespit edilip, bunları ortadan kaldıracak, dolayısıyla korozyonu önleyecek en ekonomik tedbir seçilmelidir, [6].

Örneğin; ortamda yapılacak değişikliklerle korozyon hızı azaltılabilir. Genelde açık ortamda, atmosferin koroziyon etkisini ortam koşullarını değiştirerek azaltma imkanı yoktur. Bu durumda malzemeyi ortama daha dayanıklı yapmak veya metal-ortam ara yüzeyini değiştirmek gerekir. Kapalı ortamlarda alınan en yaygın tedbir ise; bağıl rutubetin azaltılmasıdır, [7].

Malzeme bazında alınabilecek önlemlerde vardır. Yüzey kaplama işlemleri malzemeyi korumada kullanılan en önemli yöntemdir. Günümüzde, kaplanacak malzeme cinsine ve ortamına göre kaplama işleminde kullanılan çok farklı kaplama malzeme ve yöntemleri vardır. Bu yöntemler; Metalik kaplamalar, İnorganik kaplamalar ve Organik kaplamalar (boyalar) olarak yazılabilir. Ancak, iyi temizlenmemiş bir yüzeye yapılan kaplamanın uzun ömürlü olmasından söz edilemez. Bu açıdan yüzey hazırlama işlemleri, kaplamanın uzun ömürlü ve amacına uygun olarak korozyondan koruma sağlaması için dikkat edilmesi gereken ilk husustur, [7].

4. Örnek Yapı İçin Korozyondan Korunma Maliyetinin Hesabı

Bu bölümde, Mikroman Madencilik firması için, Denizli Askon A.Ş. tarafından imalat ve montajı yapılan taş eleme tesisinin korozyona karşı korunması için alınan önlemlerin ekonomik maliyeti incelenecektir.

Muğla ili, Yatağan ilçesinde bulunan kuvars madeni elek sistemi işletme süresince sürekli olarak yağmur, rüzgar gibi atmosferik olaylara açık, korumasız bir yapıdır. Bu yüzden korozyon ciddi bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Tesisin inşa edileceği yer; kırsal, rutubetli bir atmosferdir. Bu nedenle de ortamın koroziflik derecesi ise orta koroziyon atmosferidir, (Tablo 1).

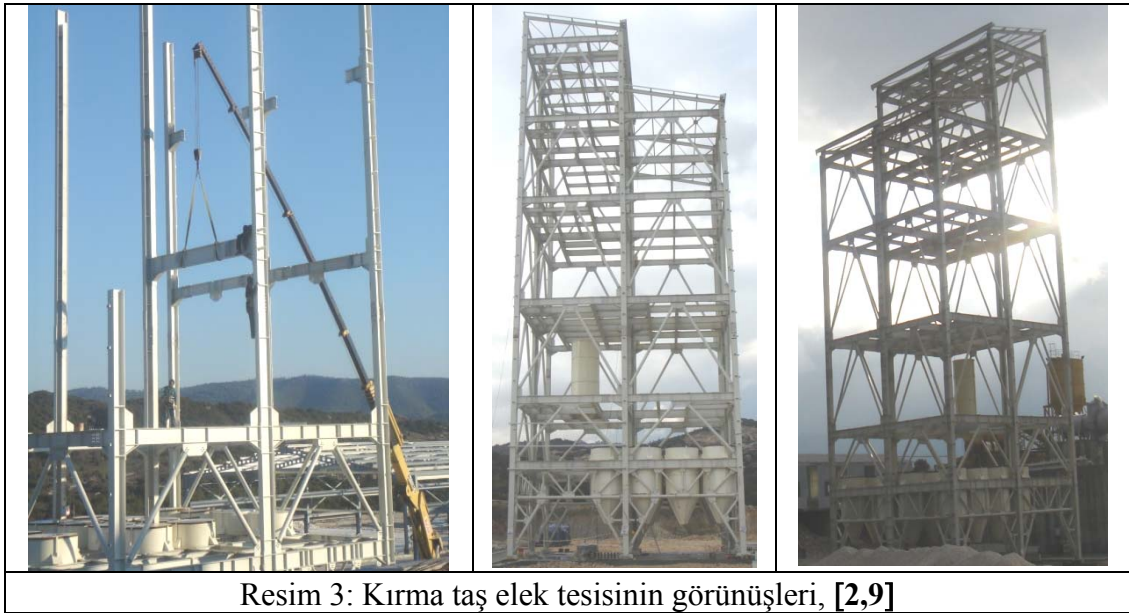
Tablo 1: Çeliğin çeşitli atmosferler içinde korozyon hızı, [8]

Atmosfer Cinsi	Koroziflik Derecesi	Korozyon Hızı ($\mu\text{m/yıl}$)
Kuru kırsal atmosfer, Kuru endüstriyel atmosfer	Hafif Korozif	1-5
Kırsal rutubetli atmosfer, Şehir atmosferi	Orta Korozif	10
Endüstriyel olarak kirlenmiş rutubetli atmosfer	Korozif	20
Yoğun şekilde kirlenmiş deniz atmosferi	Şiddetli Korozif	35

İncelenen yapıda “Boya ile korozyondan korunma yöntemi” uygulanmıştır. Yapının çelik sisteminin üretimi ve boyama işlemleri Askon A.Ş.-Denizli tesislerinde yapılmıştır. Bu nedenle de maliyet karşılaştırmalarında imalatçı firmadan alınan veriler kullanılacaktır.

4.1. Yapının Tanıtımı

İncelenen yapının taşıyıcı sistemi tamamen çelik hadde profillerinden yapılmıştır. Yapı; 32,8 metre yüksekliğinde, zemin katla beraber toplam 6 katlı, 12,00 * 12,00 m plan boyutlarında bir kırma taş eleme tesisidir. Yapıda toplam 9 adet kolon bulunmaktadır. Yapının görünüşleri Resim 3 de verilmiştir.



Resim 3: Kırma taş eleme tesisinin görünüşleri, [2,9]

4.2. Yapıda Kullanılan Çelik Metraji ve Maliyeti

İncelenen yapıda, çelik taşıyıcı sistemde kullanılan tüm farklı profil tipleri ve levhalar için; toplam uzunluklar, toplam yüzey alanları ve toplam ağırlıklar belirlenerek sonuçları Tablo 2 de verilmiştir. Yapıda, kolonlarda IPE400, IPE500 ve HEA400 profilleri, ana ve tali kirişlerde ise IPE270, IPE330, IPE400, IPE450, IPE500 ve IPE600 profilleri kullanılmıştır. Çatıda, çatı makası olarak IPE220 profiller kullanılmıştır. Çatı profilleri 120.60.4'lük kutu profiller ile birbirlerine bağlanmıştır. Ayrıca L60.60.6'lık köşebentlerden oluşan rüzgar çaprazlarıyla çatı desteklenmiştir.

İncelenen yapıda toplam 151,259 ton çelik kullanılmıştır. Yüklenici firma tarafından uygulanan birim fiyat; her şey dahil 2,5 YTL/Kg dır. Buna göre yapının çelik konstrüksiyonu mal sahibine anahtar teslimi toplam 378.147,50 YTL ye mal olmuştur.

Tablo 2: Profil Metrajı, [9]

Profil Tipi	Boy (m)	Alan (m2)	Ağırlık (kg)
HEA400	179,23	342,2	22.370,40
IPE600	21,93	44,2	2.685,60
IPE500	298,22	519,9	27.155,70
IPE450	119,03	191,4	9.231,00
IPE400	382,52	560,3	25.372,40
IPE330	87,40	109,6	4.294,70
IPE270	222,84	232,7	8.029,00
IPE220	38,03	32,3	997,3
IPE200	11,03	8,4	246,8
UPN140	39,64	12	635,2
RHS60*40*3	24,80	4,6	109,8
RHS 120*60*4	124,90	43	1.349,00
L60*6	100,62	22,4	544,6
CFCHS168.3X6	460,25	233,2	11.506,40
CFCHS114.3X4	79,59	28	853,6
CFRHS80X60X4	1.022,15	271,6	8.149,00
PL30 ve PL15	675,22	268,8	14.137,80
PL20 ve PL10	145,49	34,4	2.364,90
PL20	138,95	81,2	5.770,50
PL15*420	124,07	50	2.924,40
PL12	3,98	1,3	26,00
PL10	139,32	73,6	2.184,60
PL2*13000	1,57	40,9	320,4
Toplam	4.440,76	3.206,00	151.259,10

4.3. Boyama Maliyet Analizi

İncelenen yapıda boya ile korozyondan korunma yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem; yüzey temizliği ve boya uygulaması şeklinde iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Yüzey temizliği, esas işlem olmasa da boyanın uzun ömürlü olması için gereklidir. Yüzey temizliği yetersiz yapılan bir malzeme üzerine uygulanan boya, kendisinden beklenen koruma özelliğini tam olarak sağlayamaz. İncelenen yapının imalat aşamasında yüzey temizleme yöntemi olarak “Kumlama” yöntemi kullanılmıştır. Kumlama işlemi atölye ortamında yapılmıştır.

Bu yöntemle metal yüzeyinde bulunan pas, kir, cüruf, çapak vb. yabancı maddelerin tamamı giderilerek temizlenmiş yüzeylerde boya için uygun olan 25-75 μ m. arasında bir pürüzlülük meydana gelir. Uygulama sonrasında mümkün olduğu kadar kısa zaman içinde astarlama yapılması gerekir [8].

Kumlama işleminde tünel tipi kumlama makinesi kullanılmıştır. Resim 4’de görülen kapalı konveyör sistemli (tünel tipi) kumlama tezgahının giriş kısmında ray üzerine konmuş olan I-profil makinenin çalıştırılmasıyla belli bir hızda (1-10 m/dakika) ilerleyerek temizleme kabini içersinden yüzeyi temizlenerek geçer. Yapılan bir ölçüme göre Resim 5’de görülen 7 m. uzunluğundaki kiriş 9 dakikada makineden işlenerek çıkmıştır (1,29 dak/m).



Resim 4: Malzeme girişi yapılırken, [2,9].



Resim 5: Yüzeyi temizlenerek kumlama makinesinden çıkan malzeme, [2,9].

Temizleme işlemi; temizleme kabini içersindeki aşındırıcı özellikli çelik bilyelerin ve kırma taşların malzeme üzerine belirli bir yön ve hızda fırlatılmasıyla gerçekleşir. Çok yüksek hızlarda fırlatılan aşındırıcı bilyeler malzemeye çarpınca, üzerindeki pas, çapak, yağ, toz gibi yabancı maddeleri söker.

Resim 6,7 de görüldüğü gibi, kumlama işlemi, tüm kaynaklama ve delik delme işlemleri yapıldıktan sonra yapılır. Eğer kaynak yapıldıktan sonra, kaynak sonucu oluşan çapaklar temizlenmezse, bu bölgedeki pürüzlü yüzeyler korozyon oluşumuna neden olur.



Resim 8: Kumlama işlemi kaynaklamadan sonra yapılır, [9]



Resim 9: Kumlama makinesinden çıkan malzemenin cıvata delikleri hazır, [9]

Kumlama işleminin maliyeti; işçilik, enerji ve malzeme giderleri de dahil 100 YTL/Ton dur. Buna göre, incelenen yapının tamamı için toplam kumlama maliyeti 15 bin 126 YTL olarak hesaplanmıştır.

Yüzey temizliği yapılan elemanlar da boyama püskürtme yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntem homojen bir kaplama kalınlığı ve esneklik sağlamakta olup, elle ya da otomatik olarak yapılmaktadır. Püskürtülen boya miktarı, boya makinesinin basınç ayarı değiştirilerek ayarlanmaktadır. Uygulanan boyanın

kalınlığı, boya kuruduktan sonra, boya kalınlık ölçüm cihazı ile ölçülür. Eğer yeterli kalınlık sağlanamadıysa istenilen kalınlığa ulaşmak için bir kat daha boya yapılır.

İncelenen yapı için istenen asgari boya kalınlığı; 180 μm .’dir. Bu kalınlığa; 20 μm .’lik koruyucu astar ve 80 μm .’den oluşan iki kat esas boyanın atılmasıyla ulaşılmıştır. Boya işlemi sonrası düzenli olarak yapılan ölçümlerde; 180 μm .’lik istenen boya kalınlığına ulaşıldığı saptanmış, hatta bazı bölgelerde 220 mm.’ye kadar boya kalınlığı ölçülmüştür, [9].

Yapıda kullanılan boya malzemesinin maliyeti 13 bin 40 US \$ olarak hesaplanır (Tablo 3). Kasım 2006 kur değerine göre Dolar/YTL paritesi 1,45 olarak alındığında, KDV dahil toplam boya maliyeti 22 bin 310 YTL olarak hesaplanmıştır. Boyama işleminin maliyeti ise; işçilik, enerji ve boya makinesi bakımı giderleri gibi ek maliyetleriyle beraber toplamı; 10 bin 967 YTL (0,075 YTL/Kg) olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3: Boya maliyeti , [10]

Boya Tanımı	Katı Madde Hacmi (%)	Kuru Film Kalınlığı (μ)	Teorik Yayılma (m^2/lt)	Pratik Yayılma (m^2/lt)	Alan (m^2)	Yaklaşık Boya Gideri (lt)	Birim Fiyatı (US \$/lt)	Toplam Fiyat (US \$)	Birim Maliyet (US \$/m ²)
Epoksi Astar	51	20	25,50	7,14	3.206	449	8,80	3.951	1,23
Epoksi İlk Kat	50	80	6,25	7,00	3.206	458	9,40	4.305	1,34
Epoksi Son Kat	50	80	6,25	7,00	3.206	458	9,40	4.305	1,34
Ara Toplam		180				1.365		12.562	
Epoksi Tineri						137	3,50	478	0,15
Toplam								13.040	

Sonuç olarak incelenen yapıda boya ile korozyondan korunma işlemi için, kumlama ile yüzey temizliği de dahil, toplam 48.403,20 YTL olarak hesaplanmıştır. Bu maliyetin çelik taşıyıcı sistem maliyetine oranı ise %12,8 olarak belirlenmiştir.

5. Sonuçlar

Korozyonun doğurduğu sonuçlar nedeniyle oluşan kayıplar ihmal edilemeyecek kadar büyük değerlerdedir. Ülkemizde 1991 yılı verilerine göre yıllık toplam korozyon kaygı GSMH’nın %4,36 sı kadar olduğu tespit edilmiştir. Aynı yıl için ülkemizdeki önlenebilir korozyon miktarı GSMH’nın % 1,6’sı kadar olduğu belirlenmiştir. Bu küçümsenmeyecek kadar büyük bir orandır.

Korozyon kayıplarını en aza indirmek için; koruma yöntemlerinin bilinçli ve doğru kullanılmasının yanında, uzun vadede bakım-onarım işlemlerinin titizlikle uygulanması gerekir.

Yapılan bu çalışmada sonucunda; boya ile korozyondan korunma maliyetinin, çelik taşıyıcı sistem maliyetine oranı % 12-13 gibi bir değere ulaştığı belirlenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Üneri, S.,(1998) Korozyon ve Önlenmesi, Korozyon Derneği Yayını, Ankara, 413s.
- [2] Tama, Y. S., Kaftan, A., “Çelik Yapı ve Korozyon”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Denizli Şubesi, Denizli Bülten, Sayı: 50, Ekim/Aralık-2006.
- [3] Doruk, M., (1982) Korozyon ve Önlenmesi, Ankara, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 239s.
- [4] Dillon, C. P., (1982) Forms of Corrosion: Recognition and Prevention, NACE International, Houston, 234s.
- [5] Çakır, A. F., (1994) Türkiye’nin Metalik Korozyon Kaybı, 4. Korozyon Sempozyumu Bildirileri, İstanbul, s 1-8.
- [6] Erbil, M., (1996) Korozyonun Önlenmesi, 5. Korozyon Sempozyumu Bildirileri, Adana, s.223-237.
- [7] Çizmecioğlu, Z., (1998) İsale Hatlarının Katodik Korunması, İSKİ, İstanbul 219s.
- [8] Yalçın, H. ve Koç, T., (1991) Demir ve Çelik Yapıların Korozyonu ve Katodik Korunması, İller Bankası Genel Müdürlüğü, Ankara, 327s.
- [9] Kaftan, A, (2006), “Çelik Yapılarda Korozyon Oluşumu ve Korozyondan Korunma Yöntemlerinin Maliyet Açısından Karşılaştırılması”, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [10] Jotun Türkiye, (2006) Ürün Bilgi Rehberi, Jotun Boya Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul.

ÇOK KATLI YAPILARDA KOMPOZİT TASARIMIN ÇELİK TASARIMA GÖRE SAĞLAYACAĞI AVANTAJLAR ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Çiğdem AVCI

Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çorlu, Tekirdağ, TÜRKİYE

Özet

Bu çalışmada, çok katlı bir yapının çelik ve kompozit olarak tasarlanan taşıyıcı sistemlerinin analizi, metrajları, maliyet analizleri ve ekonomik karşılaştırmaları yapılmıştır. Çalışmada amaç, taşıyıcı sistem elemanlarının kompozit olarak düzenlenmesinin, sadece çelik olarak düzenlemeye göre getireceği ekonomiyi göstermektir. Belirlenen 9 katlı binanın tasarımı 1998 yılı deprem yönetmeliğindeki kurallara uygun olarak statik ve dinamik analiz yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Çelik ve kompozit sistem çözümlerinde plastik hesap yöntemleri kullanılırken, çelik çözüm hesapları EC3, kompozit çözüm hesapları EC4'e göre kontrol edilmiştir. Karşılaştırmalar sonucunda kompozit taşıyıcı sistemli çözümün, çelik taşıyıcı sistemli çözüme nazaran kullanılan çelik malzeme, taşıyıcı sistemde kullanılan diğer tüm malzemeler ve işçilik dikkate alındığında, kompozit olarak tasarlanmasının daha ekonomik olduğu görülmüştür.

1.GİRİŞ

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI

İnşaat sektörü, bir ülkenin üretim kapasitesi ve gerçek büyüme hızı açısından, ekonomide çok etkin bir yer tutar. İnşaatın ilk adımı olan proje hazırlama aşamasında, sistem, malzeme ve yapım tekniği çok iyi incelenmeli, ülke gerek ve gerçekleriyle uyumlu sonuca varılmaya çalışılmalıdır. Ülkemizde kullanılan taşıyıcı sistem malzemeleri kagir, betonarme, ahşap ve çeliktir.

Yüksek yapılarda ekonomik çözüm yapı malzemesi olarak bazı hallerde çeliğin, bazı hallerde ise betonarmenin seçilmesiyle mümkün olabilir. Çelik, karakteri gereği büyük açıklıkların aşılmasında, çürük zeminli yapılarda, hız isteyen işlerde, deprem ve benzeri dinamik etkileri karşılamada betonarmeye nazaran çok iyi sonuçlar verir. Ayrıca çeliğin büyük şekil değiştirme sığasına sahip olması plastik hesap yapabilme olanağı sağlamaktadır. Ancak yüksek sıcaklıklarda mukavemet düşüklüğü, paslanmaya dayanıksız olması, ses ve ısıyı iyi iletmesi çeliğin sakıncalı yanlarını oluşturmaktadır. Çeliğin ve betonun birlikte kullanılması ile elde edilen kompozit elemanlarda ise her iki malzemenin üstünlüklerinden yararlanma amacı vardır. Betonarme döşeme plaklarıyla çelik kirişlerin, yine betonarme döşeme plaklarıyla kalıcı kalıp olarak kullanılan çelik sacların ve örtü ya da iç dolgu niteliğindeki

betonla da, çelik kolonların ortaklaşa çalıştırılması mümkündür. Böylece, betonun basıncı daha iyi karşılaması, çeliğin ise çekmeye olan dayanıklılığı sayesinde, kompozit kesitler yalın çelik kesitlere göre daha ekonomik değerler vermektedir. Ayrıca kompozit kesitlerin çelik kesitlere göre bir üstünlüğü de rijitlik artışından dolayı sehim değerlerinin daha küçük çıkmasıdır.

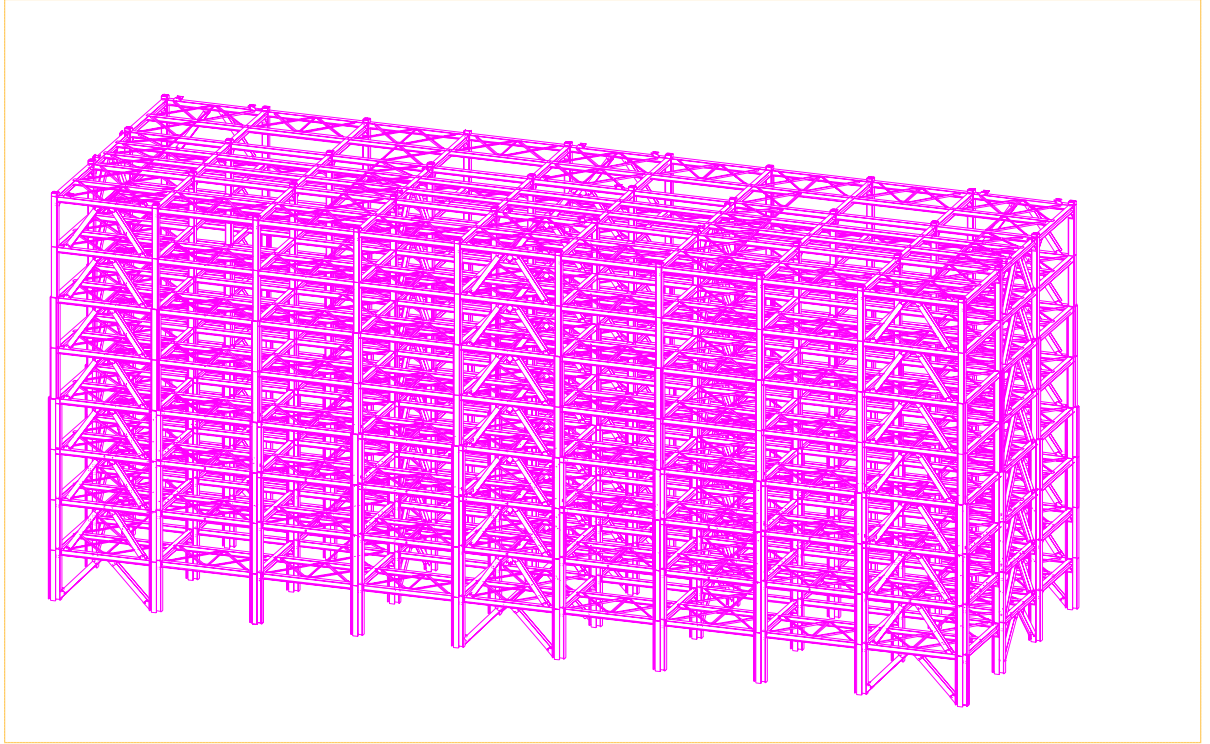
Çelik ve kompozit elemanlar, yeterli duktiliteye sahip oldukları için, yani elastik sınır gerilmelerine eşit sabit gerilmeler altında büyük şekil değiştirmeler yapabildikleri için, plastik davranışa dayanan taşıma gücü hesap ilkeleri kullanılabilir. Malzemenin duktil olması elastik bölge aşıldığında, sistemdeki zorların yeniden dağıtımına izin vermektedir. Yükler arttığında, sistemin plastikleşmiş elemanları, sabit kesit zorları altında şekil değiştirmekte, ancak bu plastik şekil değiştirmeler sistemin henüz elastik kalan kısımları içinde bulunduklarından sınırlı kalmakta ve ek yükler bu elastik kısımlarca alınmaktadır. Yani plastikleşmiş kesit, üzerinde $M_{pl,Rd}$ plastikleşme momentinin değerine eşit sabit bir momentin etkili olduğu bir mafsalsal gibi hareket etmektedir. Yüklerdeki artma bir mekanizma oluşturmaya yeterli plastikleşme meydana gelinceye kadar sürmekte ve böylece sistem taşıma gücüne, artık hiçbir ek yük taşımadığı durumda ulaşmaktadır.

Yapı yüksekliği arttıkça yüksekliğe uygun, deprem bölgelerinde gereken sünek davranışı gösterebilen, yapının mimari fonksiyonlarını aksatmayan hatta bu alanda geniş imkanlar sunan, imalatı kolay, ekonomik, uzun ömürlü, fazla özel ekipman gerektirmeyen, çevreye inşaat sırasında en az zarar veren, kontrol edilmesi zor olmayan, kısa sürede gelir getirmeye başlayan ve kendi maliyetini amorti eden en uygun malzemeyi belirlemek, yapım şeklini seçmek ve tasarımı yapmak gerekmektedir.

1.2. ÇALIŞMANIN KAPSAMI

Yukarıda açıklanan amaca uygun Çok katlı bir yapının çelik ve kompozit olarak tasarlanacak sistemlerinin metrajları, maliyet analizleri ve ekonomik karşılaştırmaları yapılmıştır.

Yapı, planda 54×18m boyutlarında olup 3,2m yüksekliğinde 9 kattan oluşmaktadır. Bina iş merkezi olarak tasarlanmıştır (Şekil 1.1).

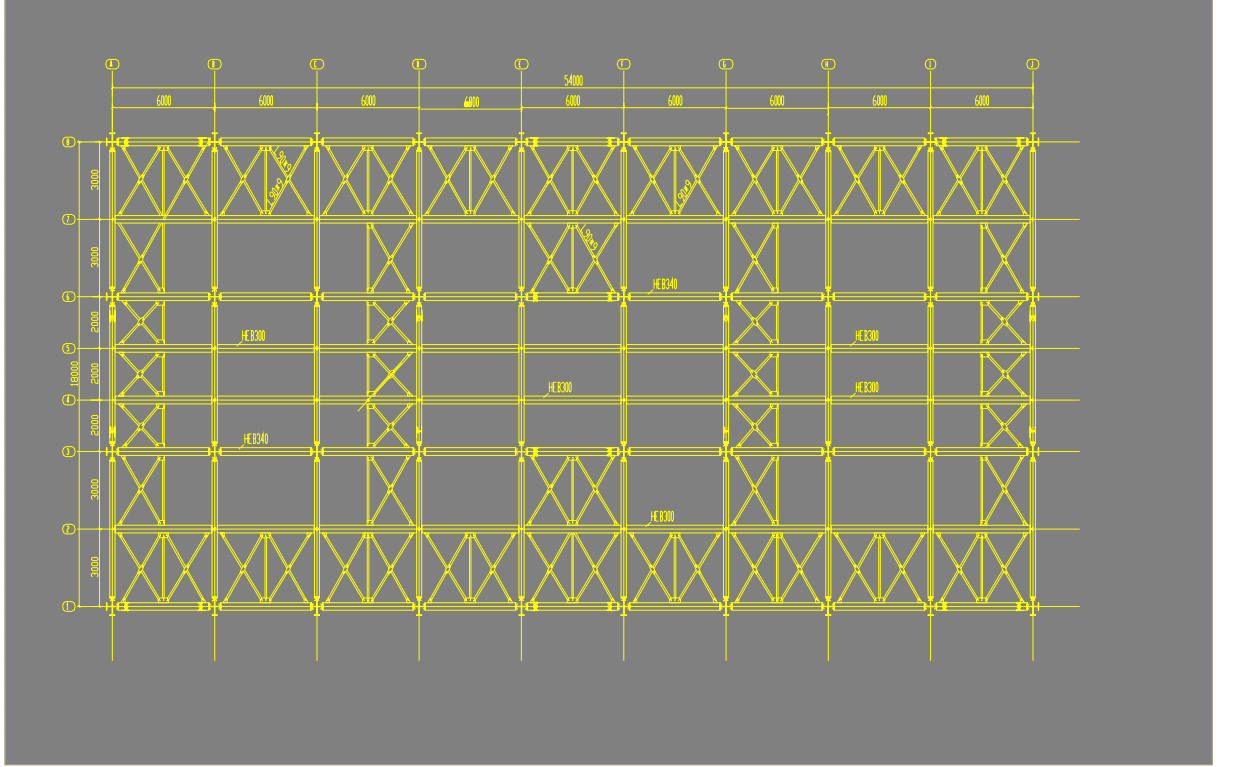


Şekil 1.1 Binanın 3 boyutlu görünüşü

2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ ve KULLANILAN BİLGİLER

Kıyaslamaya esas teşkil edecek bina önce geometrisiyle tanımlanmış, ardından çok katlı binaların stabilitesi göz önünde bulundurularak taşıyıcı sistemin nasıl belirlendiği açıklanmıştır. Yapı, planda 54×18 m boyutlarında olup 3,2 m yüksekliğinde 9 kattan oluşmaktadır. Bina iş merkezi olarak tasarlanmıştır. İncelenen sistem uzun doğrultu boyunca 9 açıklıklı olup 54 m uzunluğunda, kısa doğrultu boyunca 3 açıklıklı olup 18 m uzunluğundadır (Şekil 2.1). Her katın yüksekliği 3,2 m'dir. Yatay yükler altındaki dayanım düşey stabilite bağlantılarıyla sağlanmıştır. Çelik kalitesi Fe 360'dır.

Zemin sert kum ve çakıl olup yapı birinci dereceden deprem bölgesindedir. Çözümde elde edilen sonuçların nasıl elde edildiğine fikir olması açısından, bu bölümde bina analizinde kullanılan SAP2000 programı esaslarına da değinilmiştir. Çelik ve kompozit sistem çözümlerinde plastik hesap yöntemleri kullanıldığı için düşey yükler TS 4561 'de verilen 1,7 değerinde yük güvenlik katsayısı ile çarpılarak artırılmıştır. Yapıda yatay yüklere karşı süneklilik düzeyi yüksek dış merkezli kararlılık çaprazlı çerçeveler kullanılmıştır. Hesaplar EC3 ve EC4' göre kontrol edilmiştir.



Şekil 2.1 Çözümü Yapılan Binanın Plandaki Durumu

2.1. ÇELİK YAPI

2.1.1. MALZEME

Çelik yapıda malzeme olarak C25-30 beton ve S420 donatı kullanılmıştır. Yapısal çelik profili olarak Fe360 kalitede profiller kullanılmıştır.

2.1.2. DÜŞEY TAŞIYICILAR

Kolonlar ve kirişler çelik, döşeme kompozit olarak modellenmiştir. Ana kirişler HEB 340'lık, tali kirişler HEB 300'lük çelik kirişlerdir. Döşeme için iki tip öneri verilecek, bunlardan zaman planlaması açısından en uygun olanı seçilmiştir.

Döşemeler : 1mm kalınlıklı 5cm'lik trapez bükülmüş sac

: 1mm kalınlıklı TRP200 çelik profil

Kolon kesitleri yükseklik boyunca değişken olup, 1., 2., 3. ve 4. katlarda HAÇHEB 700'lük, 5. ve 6. katlarda HAÇHEB 500'lük, 7., 8. ve 9. katlarda HAÇHEB 360'lık çelik kolonlardır. Kat kirişleri, uzun doğrultu boyunca mafsallı, kısa doğrultu boyunca çerçeveye moment aktaracak biçimde ankastre bağlanmışlardır. Ara kirişler moment aktarmaz biçimde mafsallı bağlanmıştır. Döşeme hizasının hemen altında çaprazlarla oluşturulan stabilite bağları ile kat hareketi sağlanmıştır.

2.1.3. YATAY TAŞIYICILAR

Yatay yüklerin taşınması amacıyla kat boyunca düşey çaprazlar tertip edilmiştir. Çaprazlar dışmerkez olup, uzun doğrultu boyunca deprem yüklerinin tamamının bu çaprazlı perdeler, kısa doğrultu boyunca perdelerle birlikte çerçeveler tarafından taşındığı kabul edilmiştir. Böylece yapı davranış katsayısı (R) değeri yüksek tutulmuştur. Yapının yatay yüklere göre analizinde, düşey çaprazlar hem basınç hem de çekme kuvvetine göre kesit kontrolü yapılmıştır. $\lambda \leq 100$ koşulu sağlanmıştır.

2.2. KOMPOZİT YAPI

Kompozit yapı malzeme, döşeme ve yatay taşıyıcılar yönünden aynı olmakla birlikte düşey taşıyıcılar bakımından farklılık göstermektedir.

Kolonlar ve kirişler kompozit olarak modellenmiştir. Ana kirişler uzun doğrultu boyunca HEB 220'lik, kısa doğrultu boyunca HEB 240'lik, tali kirişler ise HEB 200'lük kompozit kirişlerdir. Kolon kesitleri yükseklik boyunca değişken olup, 1., 2., 3. ve 4. katlarda tam gömme HEB 600'lük, 5. ve 6. katlarda tam gömme HEB 400'lük, 7., 8. ve 9. katlarda tam gömme HEB 280'lik kompozit kolonlardır.

2.3. ANALİZ PROGRAMININ TANIMI

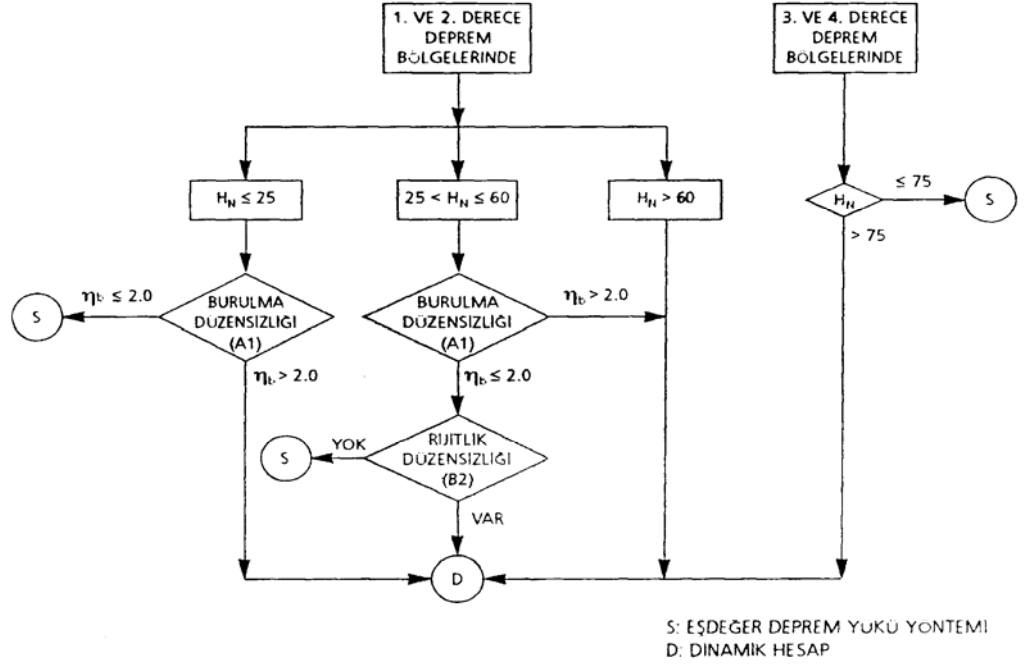
Yapı SAP2000 (STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAM) ile sonlu çubuk elemanlardan oluşan bir model olarak tasarlanıp çözülerek gerekli kesit tesirleri bulunduktan sonra boyutlandırma yapılmıştır.

2.4. HESAP YÖNTEMİNİN SEÇİLMESİ

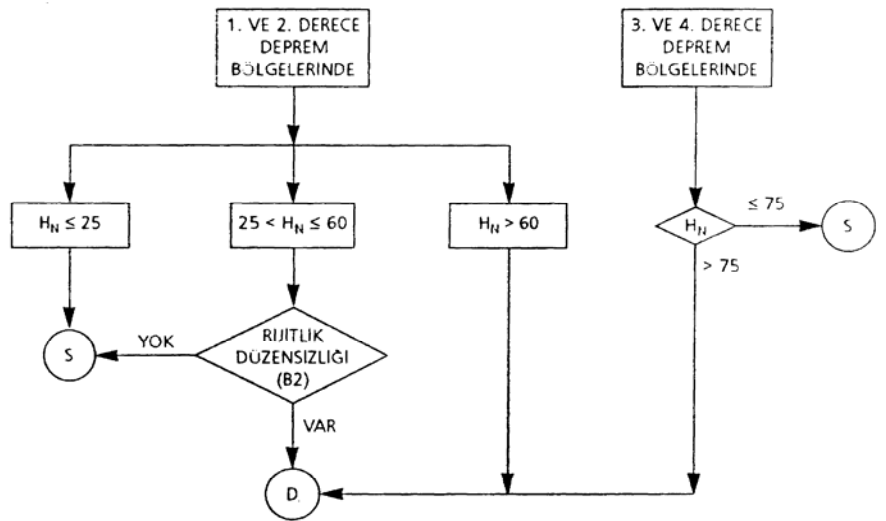
Yapıların taşıyıcı sisteminin, düşey yükler yanında, deprem etkisini de güvenlikle karşılaması beklenir. Bu etki genel olarak dinamik karakterde ve değişik yönlerde etkili olmasına rağmen, pek çok durumda eşdeğer statik yüklere indirgenerek göz önüne alınır. 1998 yılı yönetmeliğinde de, uygulamada karşılaşılan yapıların büyük çoğunluğu için Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılmasına izin verilmektedir. Deprem etkisinin önemli olduğu yüksek yapılarda ise, davranış Yapı Dinamiği'nin ilkelerini kullanarak daha ayrıntılı belirlenmelidir. Hesap yönteminin seçilmesi ile ilgili koşullar Şekil 2.2 'teki akış diyagramı üzerinde gösterilmiştir[2].

Şekil 2.2'te görüldüğü gibi, 1. ve 2. Derece deprem bölgeleri için hesap yönteminin seçilmesinde, toplam yapı yüksekliği (H_N) ile birlikte bazı düzensizlik durumları da belirleyici etken olmaktadır. Yeni yönetmelikte depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken düzensiz binaların tanımlanması ile ilgili olarak, planda ve düşey doğrultuda düzensizlik meydana getiren durumlar ayrıntılı bir biçimde yer almaktadır.

Çeşitli örnekler üzerinde yapılan incelemeler, η_b ile gösterilen burulma düzensizliği değerinin 2.00'den daha büyük olma olasılığının pek zayıf bir olasılık olduğunu göstermiştir. Bu durumda, uygulama açısından geçerli olan, yöntem seçimi akış diyagramı basitleşir ve Şekil 2.3'te gösterilen biçimi alır[2]. 1998 yönetmeliği, deprem etkisinin daha rahat karşılanması bakımından, yapıda düzgün taşıyıcı sistem seçimini özendirici ve tersini caydırıcı hükümlere sahiptir. Belirtilen düzensizliklerden en az birinin bulunduğu binalar düzensiz olarak sınıflandırılır [5].



Şekil 2.2 Hesap yönteminin seçilmesi



Şekil 2.3 Uygulamada hesap yönteminin seçilmesi

3. ÇELİK VE KOMPOZİT SİSTEMLERİN MALİYET ANALİZİ

3.1. MALİYETE ETKİ EDEN UNSURLAR

Yapı maliyetinin iyi şekilde belirlenebilmesi için öncelikle maliyete etkiyen unsurları maddeler halinde belirleyelim. Bu unsurların maliyete etkileri ayrıca metraj sonuçları incelendikten sonra belirlenecektir.

- Betonarme betonu (B25)
- İnşaat demiri (BÇIII)
- Kalıp yapım ve sökümü (İskele dahil)
- Çelik profiller
- Kalıcı çelik trapez sac (Kalıp olarak)
- Çelik yapı elemanları (Levhalar ve bulonlar)
- Yangına karşı koruma malzemesi ve işçiliği
- Çelik montajı
- Zemin iyileştirilmesi
- Beton dökme ve demir işleme makinaları
- Vinçler
- Kompresörler

Her yapı türü için metrajlar ilgili bölümde verilmiştir. Burada sadece genel malzeme miktarları verilecektir.

Çelik Yapı

Toplam beton metrajı	: 1093,5 m ³
Toplam yapısal çelik metrajı	: 14220,2 kN
Toplam donatı metrajı	: 656,1 kN

Kompozit Yapı

Toplam beton metrajı	: 1319.5m ³
Toplam yapısal çelik metrajı	: 8461.4 kN
Toplam donatı metrajı	: 743.1 kN
Toplam kalıp metrajı	: 73.6 m ²

Yukarıdaki metraj sonuçları yapının çıplak malzeme miktarlarıdır. Gerçeğe yakın bir maliyet analizi için kayıplar ve metraj safhasında dikkat çekmeyen fakat toplanınca yapı maliyetine ciddi etkileri olan kalemlerin ilavesi gerekir.

Beton hazır beton olduğundan ve kalıp sistemi de baştan mimari projeye göre seçildiğinden kayıp olmayacağı düşünülmüştür. Demir miktarında kesmeden ve projeden dolayı %10 kayıp olacağı, çelik miktarı da; katlardaki yatay stabilite bağlantıları, bağ levhaları, bayrak levhaları, kayma kamaları, kompozit döşeme levhası,berkitmeler,kesim ve imalat kayıpları düşünülerek %15 artırılarak hesaplanmıştır. Tüm bunlar eklenerek düzeltilmiş metrajlar için Tablo 3.1 oluşturulmuştur ve bu tabloda ki birim fiyatlar için yapı maliyetleri çıkarılmıştır[19].

Fiyatlar güncel olan piyasa fiyatları ile kıyaslanabilmek amacı ile dolara endekslenmiştir.

3.2. BİRİM FİYAT TARİFELERİ VE MALİYETİN OLUŞUMU

1 m³ beton

Satın alınan ve pompasıyla basılan fabrikasyon (hazır beton).

B25 (poz no: 16.059) : \$75.00

1 kN demir

0-28 mm nervürlü beton çelik çubukların kesilmesi, bükülmesi ve terine konması (nervürlü).

St III (poz no: 23.014) : \$50.00

1 m² kalıp

Rendeli ve lamba zivanalı düz yüzeyli çıplak beton ve betonarme kalıbının alınması ve yerine yerleştirilmesi, yerleştirilirken gerekli düşey ve yatay elemanların, desteklerin, kilitlerin kullanılması.

(poz no: 21.015) : \$25.00

1 kN yapısal çelik konstrüksiyon

Her çeşit profil çubuk ve çelik saclara karkas inşaat yapılması, yerine tespiti

(poz no: 23.101) : \$106.327

Tablo 3.1 oluşturulurken Yapı işleri Birim Fiyat Tarifeleri dikkate alınmıştır. Tablo da görüldüğü üzere kompozit sistem, çelik sisteme göre % 37 daha ucuz olduğu görülmüştür.

Tablo 3.1 Çelik ve Kompozit Çözümlerin Karşılaştırılması

		ÇELİK SİSTEM	BİRİM	MALİYETİ	KOMPOZİT SİSTEM	BİRİM	MALİYETİ	ORANI
		BİRİM	\$ / BİRİM	\$	BİRİM	\$ / BİRİM	\$	
BETON		1093,50	75,00	82012,50	1319,50	75,00	98962,50	1,21
	DÖŞEME	1093,50	75,00	82012,50	1093,50	75,00	82012,50	1,00
	KOLON				226,00	75,00	16950,00	
PROFİL		14220,18	106,33	1511989,08	8461,40	106,33	899675,28	0,60
	DÖŞEME	686,00	106,33	72940,32	686,00	106,33	72940,32	1,00
	KİRİŞ	7050,24	106,33	749630,87	3929,50	106,33	417811,95	0,56
	KOLON	4515,84	106,33	480155,72	1877,80	106,33	199660,84	0,42
	ÇAPRAZ	1968,10	106,33	209262,17	1968,10	106,33	209262,17	1,00
DEMİR		656,10	50,00	32805,00	743,14	50,00	37157,00	1,13
	DÖŞEME	656,10	50,00	32805,00	656,10	50,00	32805,00	1,00
	KOLON				87,04	50,00	4352,00	
KALIP+İSKELE					73,60	25,00	1840,00	
KAYIP			0,10	3280,50		0,10	3715,70	1,13
LEVHA			0,15	226798,36		0,15	134951,29	
TOPLAM MALİYET				1850324,44			1168870,37	0,63

4. SONUÇLAR

Bir yapının taşıyıcı sistem malzemesinin belirlenmesindeki en büyük etkenlerden biri maliyettir. Ayrıca yapının mimarisi ve taşıyıcı sistemin biçimi de malzeme seçimindeki etkenlerdendir. Ülkemizde çok katlı yapılarda, çelik taşıyıcı sistem yok denilecek ölçüde az kullanılmaktadır. Oysa ülkemiz deprem kuşağında yer almaktadır ve çelik yapılar deprem etkilerine en duyarlı biçimde karşılık verirler. Ayrıca çeliğin yalnız başına taşıyıcı olarak kullanılmasının yanısıra, yapıda çeşitli sebeplerden dolayı zaten bulunması da mümkün olabilecek betonun, basınca olan dayanımından yararlanmak amacıyla, beton ve çeliğin karma taşıyıcı olarak birlikte ele alınması ve hesaplarda elastik hesap yöntemleri yerine malzemenin gerçek taşıyıcı gücünü yansıtan plastik hesap yöntemlerinin kullanılması, yapının taşıyıcı sistem maliyetine önemli ölçüde azalma getirmektedir. Çok katlı bir yapının çelik ve kompozit taşıyıcı sistemli olarak seçilmesi arasındaki maliyet farkını belirlemek amacıyla, 9 katlı düzgün taşıyıcı sistemli bir yapı ele alınarak çelik ve kompozit taşıyıcı sistemli çözümleri plastik hesap esasları kullanılarak yapılmıştır. Öncelikle yapı elemanı olarak kompozit döşeme, kiriş ve kolon kullanılmasının avantajları üzerinde durulacaktır:

Çelik iskeletli bir yapının, yerinde dökülen betonarme bir döşeme plağında, kalıp önemli bir sorundur. Bu nedenle özellikle son yıllarda kendini taşıyabilen katlanmış çelik sacların kalıcı kalıp olarak kullanılması zorunludur. Kalıcı çelik kalıp, ancak aynı zamanda donatı görevini üstlenmesi durumunda, yani plak karma çalışırsa, ekonomik bir anlam kazanır.

Betonarme döşeme plaklarıyla çelik döşeme kirişlerinin ya da köprü tabliyesiyle kirişlerinin ortak çalıştırılmasıyla ortaya çıkan karma (kompozit) kirişler, üzerlerine serbestçe oturan bir betonarme plağı yalnız başlarına taşımaya çalışan çelik kirişlere göre çok ekonomiktirler. Çünkü karma kirişte, eğilmeden ileri gelen kuvvet çiftinin çekme bileşeni çelik profil, basınç bileşeni ise ya yalnız betonarme plakça, ya da betonarme plak ve çelik profilin bir bölümünce ortak olarak taşınmaktadır. Dolayısıyla çelik profil, eğilmenin basınç bileşenini taşımaktan ya bütünüyle ya da büyük ölçüde kurtulmaktadır. Karma kirişlerin çelik kirişlere karşı gösterdikleri bu üstünlük, betonarme kirişlerle kıyaslanmalarında da ortaya çıkar. Bir betonarme kirişe göre her zaman daha hafif olan karma kiriş, konstrüksiyon yüksekliği açısından bir sınırlama mevcutsa, aynı yükseklikteki betonarme kirişten daha az çelik harcayabilir.

Kompozit kolonlar inşaat endüstrisindeki çeşitli uygulamalar için önemli yapısal ve ekonomik faydalar sağlarlar. Büyük düktiliteleri ve enerji yutma sığaları özellikle deprem bölgelerinde çekici kılmaktadır. Ayrıca büyük eğilme rijitlikleri kullanılmalarının bir diğer nedenidir.

Çalışma boyunca hesaplanan ve belirtilenlerden ortaya bu tür kıyaslamalarda bir ön hazırlık niteliği taşıyabilecek bazı sonuçlar çıkarılmış Tablo 3.1’de ayrıntıları olmak üzere, aşağıda temel karşılaştırmaları verilmiştir.

Her iki sistemin genel kıyaslaması yapılarak, çözüm sonucunda ortaya çıkan farklılıklar yorumlanmış, önerilerde bulunulmuştur.

- Yapının kirişler, kolonlar ve diyagonallerinden oluşan taşıyıcı sistemin bir bütün olarak ele alındığında, çelik çözümde 14220.18 kN, kompozit çözümde 8461.40 kN çelik profil kullanılmıştır. Kompozit yapı, çelik yapıya göre çelik malzeme yönünden daha hafiftir.
- Kompozit yapıda kesitler oldukça küçüldüğü için kullanılabilir alan artmıştır. Bu da yüksek yapının yapılış amacı olan alandan tasarruf prensibine daha uygundur.
- Çelik sistemde çelik profil maliyeti \$1.511.989,08, kompozit sistemde \$899.675,28'dır. Kompozit sistemin çelik sisteme göre, çelik malzeme açısından %40 daha ekonomik olduğu görülmüştür.
- Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlarda, kompozit sistemin çelik sisteme nazaran maliyet açısından %37 daha ekonomik olduğu görülmüştür.

Karşılaştırmalar sonucunda kompozit taşıyıcı sistemli çözümün, çelik taşıyıcı sistemli çözüme nazaran kullanılan çelik malzeme, taşıyıcı sistemde kullanılan tüm malzemeler ve işçilik dikkate alındığında daha ekonomik olduğu görülmüştür.

5. KAYNAKLAR

- [1] **Deren, H., Uzgider, E., Piroğlu, F.**, Çelik Yapılar, Çağlayan Kitabevi, 2003, İstanbul
- [2] **Özmen, G.**, 1999, 1997 Türkiye Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarım Uygulamaları, Türkiye Deprem Vakfı Teknik Raporu, TDV / TR 018 –32.
- [3] **Uluğ, T., N.**, Çelik Yapılar, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 1977, İstanbul.
- [4] **Arda, T. S.**, Yapıların Yangın Güvenliği Ve Buna İlişkin Yapısal Önlemler
- [5] **Celep, Z., Kumbasar, N.**, 1992, Deprem Mühendisliğine Giriş Ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [6] **İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Eğitim Merkezi**, 1998, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No:25.
- [7] **Eurocode 3 Part 1.1**, 1992, Desing of Steel Structures
- [8] **Eurocode 4 Part 1.1**, 1992, Desing of Composite Steel and Concrete Structures
- [9] **Eurocode 4 Part 1.2**, 1993, Desing of Composite Steel and Concrete Structures
- [10] **ECCS NO:87**, 1995, Desing Manual for Composite Slabs
- [11] **ECCS NO:72**, 1993, Composite Beams and Columns to Eurocode 4
- [12] **TS 498**, 1987, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü
- [13] **TS 648**, 1980, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü
- [14] **TS 4561**, 1985, Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü
- [15] **ARBED Profil Tabloları**, 1997
- [16] **Arda, T. S.**, Çelik Yapıda Karma Elemanların Plastik Hesabı, Kurtiş Matbaası, 1991, İstanbul
- [17] **Türkiye Yangından Korunma ve İtfaiye Eğitim Vakfı**, 1994, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yangından Korunma Yönetmelikleri
- [18] **Deren, H.**, Çelik Yapılar, İnşaat Fakültesi Matbaası, 1995
- [19] **Bayındırlık ve İskan Bakanlığı**, 2000, Birim Fiyat Tarifeleri Listesi